

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА

П. П. Рожков, С. Е. Рожкова

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
З ДИСЦИПЛІНИ
“МІКРОПРОЦЕСОРНА ТЕХНІКА”

(для студентів 4 курсу денної форми навчання спеціальності
7.09 06 03 - “Електротехнічні системи електроспоживання” та спеціальності
7.05 07 01 - “Електротехніка та електротехнології”)

УДК 621.316.728.016.24

П.П. Рожков, С.Е. Рожкова: Конспект лекцій з дисципліни “Мікропроцесорна техніка”. - Харків: ХНАМГ, 2008. – 116 с.

У конспекті лекцій висвітлюються основні типи мікропроцесорних пристроїв, які використовуються при побудові інформаційно-вимірювальних систем в енергетиці. Розглядаються питання перетворення сигналів у вимірювальних перетворювачах потужності, структура й принцип роботи сигнальних мікропроцесорів в електронних лічильниках електричної енергії, аналізаторах якості електричної енергії, а також в системах релейного захисту та автоматики.

Рекомендовано для студентів електроенергетичних й електромеханічних спеціальностей, а також для фахівців, що працюють в області електропостачання промислових підприємств й обліку електричної енергії.

Рис. 38., Табл.6.

Рецензент: доц. І.Г. Абраменко

Рекомендовано кафедрою електропостачання міст, протокол № 7 від 30.03.2007 р.

© Рожков П.П., Рожкова С.Е., ХНАМГ, 2007

ВСТУП

Нові економічні умови роботи енергетики України стимулювали прискорений розвиток і впровадження нових засобів обліку і керування споживанням електроенергії, а також оцінки її якості.

Технічні і організаційні проблеми обліку, які багато десятиліть обговорювали і не квапилися вирішувати докорінно, стали однією з основних причин кризових явищ у комерційній сфері діяльності енергопостачальних компаній. З одного боку це обумовлено відсутністю, на той період, надійної вітчизняної мікропроцесорної елементної бази, а з іншого боку - невисокою вартістю електричної енергії. В теперішній час, доцільність впровадження автоматизованих систем обліку і керування електроспоживанням, як на рівні підприємства, так і на державному рівні, не викликає сумнівів.

Поряд з об'єктивними фінансовими труднощами, пов'язаними з необхідністю значних капіталовкладень у створення автоматизованих систем обліку і керування електроспоживанням, існують труднощі перепідготовки персоналу і підготовки молодих фахівців до роботи з інформаційно - вимірювальними системами, що становлять основу систем обліку і керування електроспоживанням.

Практично столітній досвід експлуатації індукційного лічильника електричної енергії, як основного приладу обліку, сформував у фахівців-енергетиків вузький "електромеханічний" погляд на рішення завдання обліку. Тому широке впровадження сучасних мікропроцесорних систем обліку і керування електроспоживанням, мікропроцесорних систем релейного захисту і автоматики утруднюється не тільки "природними" причинами початкового впровадження нової техніки, але і відсутністю у фахівців знань в області цифрової вимірювальної техніки, мікропроцесорів, перетворення і передачі сигналів, системотехніки і нових інформаційних технологій.

Процеси генерації, передачі і споживання електроенергії в енергетиці носять настільки спеціальний характер, що практика залучення фахівців з інших областей знань не може носити широкий характер. Тому для підготовки студентів за спеціальностями 7.090603 "Електротехнічні системи електроспоживання" і 7.050701 - "Електротехніка і електротехнології" розроблено навчальний курс "Мікропроцесорна техніка", в якому розглядають питання використання сучасної мікропроцесорної техніки в енергетиці.

Розвиток світової економіки характеризується двома протилежними напрямками. З одного боку, спостерігається безсумнівний ріст витрат енергетичних ресурсів на одну людину (особливо в країнах, що розвиваються), з іншого боку, - прагнення скоротити такі витрати без шкоди розвитку економіки і рівню життя населення (в промислово розвинених країнах). Розв'язання цього протиріччя світове співтовариство шукає шляхом пошуку нових джерел енергії і розробки нових енергозберігаючих технологій. У країн Західної Європи і Північної Америки вже є значний досвід розробки і

впровадження енергозберігаючих технологій. Україна, як і інші держави СНД, перебуває тільки на початку цього шляху.

У теперішній час спостерігається стійка тенденція росту вартості природних ресурсів (сировини, палива, гідроресурсів), що підвищує частку енергетичних витрат у собівартості продукції (становить двадцять і більше відсотків), тому заходи, спрямовані на економію електроенергії, забезпечують значний економічний ефект. Перший етап вирішення завдання економії енергії - організація оперативного контролю і обліку витрат енергетичних ресурсів у цілому і електричної енергії зокрема. Такий контроль можливий тільки з застосуванням сучасних автоматизованих систем обліку електроенергії.

Процес впровадження автоматизованих систем контролю і обліку електроспоживання на Україні характеризується високими темпами, великими капіталовкладеннями і значною розмаїтістю встановлюваного встаткування.

Мотивація цього процесу має економічну основу. Як постачальники, так і споживачі електричної енергії зацікавлені в організації точного обліку і, отже, мінімізації втрат електричної енергії. Впровадження сучасних мікропроцесорних лічильників, завдяки їхній високій точності 0,2S і 0,5S, дозволяє одержати більш достовірну інформацію про електроспоживання. А це означає точне визначення балансів, знаходження втрат і виявлення неврахованих споживачів. Тільки на цьому економія може скласти до 2 - 5%.

Установка багатотарифних лічильників дозволить перейти на розрахунок за спожиту електроенергію за сучасними тарифами. В багатьох енергосистемах встановлено різну ціну на електроенергію вночі, удень і у години пікових навантажень енергосистеми. Якщо підприємство виконує частину робіт під час, коли електроенергія коштує дешевше, то при тому ж споживанні зможе платити за неї значно менше.

Енергокомпанії, в свою чергу, виграють через те, що вирівнюється графік навантаження у всій енергосистемі. Енергосистеми відмовляють від уведення нової потужності для покриття зростаючого навантаження або від купівлі електричної потужності в інших енергосистемах. Унаслідок цього поліпшується режим роботи теплових електростанцій, скорочують витрати палива на виробку електроенергії і зношування енергетичного встаткування. Тому енергосистеми не тільки самі встановлюють сучасні мікропроцесорні лічильники, але й рекомендують робити це промисловим споживачам.

Сучасний мікропроцесорний лічильник - це фактично спеціалізований комп'ютер, установлений в точці обліку. Він не тільки вимірює активну і реактивну електроенергію в двох напрямках, але і фіксує дату і час максимального навантаження для кожної тарифної зони. Після зчитування інформації з лічильника комп'ютер будує графік споживання енергії. Підприємство і енергосистема будують графіки навантаження кожної ділянки, цеху або виробництва за день, тиждень або місяць. Аналіз графіків і визначення сполученого максимуму показує, як треба скорегувати технологічні режими роботи.

Це допомагає знизити споживану потужність у години пікових навантажень енергосистеми.

Установка сучасних лічильників дозволяє уникнути штрафів за перевищення заявленої потужності. Прилад обліку може сигналізувати про перевищення заданого граничного значення потужності. Цей сигнал можна використати як попереджувальний, або для відключення навантаження.

Треба враховувати, що проблеми якості електроенергії виходять на перший план. Сучасні мікропроцесорні лічильники мають можливість вимірювати і контролювати ряд параметрів електроенергії, таких як: поточні значення фазних струмів, напруг, частоту мережі і коефіцієнт потужності, фіксувати в пам'яті і сигналізувати про вихід параметрів за межі уставок.

Аналіз експлуатації електронних лічильників електричної енергії показав, що лічильник, не включений в систему обліку, не може забезпечити належною мірою правильність обліку й відсутність розкрадань. Тільки безперервний моніторинг за електроспоживанням, статистичний аналіз результатів вимірів, спеціалізоване програмне забезпечення дозволяють гарантувати відсутність розкрадань.

Таким чином, перед майбутніми фахівцями в області електроенергетики стоїть завдання впровадження досягнень сучасної мікропроцесорної техніки в енергетику в найкоротший термін і з максимальною ефективністю.

ЛЕКЦІЯ 1

ВИМІРЮВАЛЬНІ СИГНАЛИ ТА ЇХНЄ ПЕРЕТВОРЕННЯ

Інформаційно - вимірювальна система - це сукупність програмно - керованих засобів вимірів і обчислень, що виконують загальне завдання одержання інформації про об'єкт за єдиним алгоритмом. Об'єктом виміру ІВС є звичайно сукупність багатьох величин і залежностей між ними.

Засоби інформаційно-вимірювальної техніки з'єднують в єдині системи за допомогою сигналів різного призначення - керування, зв'язку, синхронізації, зразкових, вимірювальних та ін. Сигнали для забезпечення можливості з'єднання ланок системи повинні мати сумісність за родом, розміром та ін.

Поняття «сигнал» є дуже широким. У загальному випадку під сигналом мають на увазі фізичний процес - носій відомостей. Сигнал має різні параметри і характеристик й представляється математичною моделлю.

Залежно від характеру відомостей сигнали, що використовують у вимірювальній техніці, можна розділити на вимірювальні і зразкові (рис. 1).

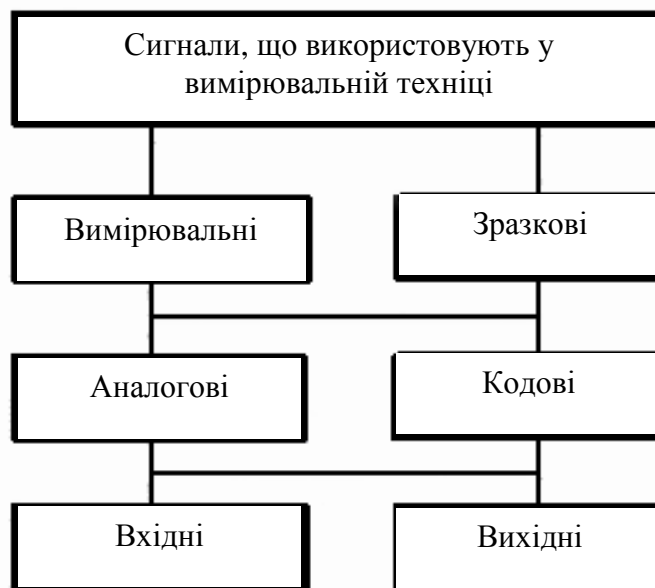


Рис. 1 - Сигнали, що використовують у вимірювальній техніці

У вимірювальному сигналі містять невідомі нам дані, тобто вимірювальна інформація, що закладена або в розмірах його параметрів, або в інших характеристиках.

У зразковому сигналі відомі нам дані або відомості містять в заданих розмірах його параметрів або в інших характеристиках. Відомі характеристики зразкових сигналів допомагають одержати інформацію, що втримується у вимірювальному сигналі. Аналогові сигнали безперервні за розмірами. До них відносить більшість вимірювальних сигналів. Кількість інформації, закладена в них, теоретично не обмежена. Зразкові аналогові сигнали звичайно є вихідними сигналами мір і перетворювачів код - аналог.

У кодовому сигналі відомі або невідомі дані або характеристики закладені в кількості і розташуванні його елементів у часі або в просторі. Кількість інформації, що містить в такому сигналі, звичайно обмежена. Елементами кодових сигналів служать електричні імпульси, або потенціали.

Взаємодія засобів вимірів між собою, з об'єктом виміру, керування, іншими об'єктами і системами реалізується за допомогою вхідних і вихідних вимірювальних сигналів, що діють відповідно на вході і виході засобів вимірів.

Вхідним вимірювальним сигналом називається сигнал, що впливає на вхід засобів вимірів. Вхідний сигнал у вигляді фізичного процесу впливає на вхід більшості засобів вимірів: вимірювальних і масштабних перетворювачів, пристроїв порівняння, вимірювальних приладів і систем. Вхідний вимірювальний сигнал характеризується параметрами, які можна підрозділити на інформативні і неінформативні.

Інформативним параметром вхідного сигналу називається параметр процесу, що функціонально пов'язаний з вимірюваною величиною.

Неінформативним параметром вхідного вимірювального сигналу називають параметр, не зв'язаний функціонально з вимірюваною величиною. Однак неінформативний параметр може викликати небажану зміну інформативного параметра вихідного сигналу, пов'язаного з вимірюваною величиною.

Вимірювальне перетворення - операція перетворення вхідного сигналу у вихідний, інформативний параметр якого з заданим ступенем точності функціонально пов'язаний з інформативним параметром вхідного сигналу і може бути вимірним з досить високою точністю.

Вихідний аналоговий сигнал виникає на виході мір, вимірювальних перетворювачів. Вихідний сигнал також може мати багато параметрів.

Інформативний параметр вихідного сигналу вимірювального перетворювача однозначно функціонально, по можливості, лінійно пов'язаний з вимірюваною величиною або з інформативним параметром вхідного сигналу.

Неінформативним параметром вихідного сигналу вимірювального перетворювача називають параметр, не зв'язаний функціонально з інформативним параметром вхідного сигналу.

Кодовий вимірювальний сигнал є систематизованою сукупністю легко помітних символів у вигляді фізичних станів, що відображають числове значення величини. Кодовий вимірювальний сигнал є вихідним сигналом цифрового вимірювального приладу й вхідним сигналом - перетворювача код-аналог. Інформативним параметром кодового зразкового сигналу є число. Інформативним параметром кодового вимірювального сигналу є числове значення вимірюваної величини. Зміни неінформативних параметрів кодового сигналу на значення його інформативного параметра практично не впливають.

Перетворення вхідного вимірювального сигналу в ІВС можна розділити на ряд етапів, зміст яких залежить від форми сигналу і вимог до подання вихідного сигналу. На рис.2 представлено структурну схему

послідовності операцій з вимірювальним сигналом, які найбільш часто використовують при вимірах потужності і кількості електричної енергії.

Попередні операції з аналоговим вимірювальним сигналом зв'язані в першу чергу зі зміною масштабу його інформативного параметра.

Масштабним лінійним перетворенням називають операцію створення вихідного сигналу, інформативний параметр якого пропорційний однорідному інформативному параметру вхідного сигналу.

При вимірі потужності і кількості електричної енергії інформативними параметрами є миттєві значення струму і напруги у вимірюваному колі. Оскільки ці величини змінюють в широкому діапазоні, то можливе як ослаблення, так і посилення сигналу. Причому ослаблення сигналу, може виконуватися в кілька етапів різними технічними пристроями. Наприклад, при перетворенні миттєвого значення фазного струму послідовно використовують трансформатор струму і диференціальний підсилювач з програмованим коефіцієнтом підсилення.

В енергетиці прийнято, що розглянуті вхідні вимірювальні сигнали описують періодичною функцією і є полігармонійними. Розкладання складного сигналу на елементарні здійснюється за певною системою, зокрема за системою ортогональних функцій - в узагальнений ряд Фур'є. Виконання гармонійного аналізу є попередньою операцією з сигналом і дозволяє, при необхідності, зробити цілеспрямовану фільтрацію сигналу. Фільтрацією називають виділення з сигналу його частини, частотний спектр якої лежить у певній області (в смузі пропускання). Як приклад, можна привести застосування фільтра нижніх частот у сучасних лічильниках електричної енергії, що дозволяє відсіяти високочастотну перешкоду і підвищити точність виміру. Слід зазначити, що й кодовий сигнал може бути підданий дискретному перетворенню Фур'є й цифровій фільтрації, однак на етапі попередніх операцій з сигналом це звичайно не роблять.

Це пов'язано з необхідністю застосування спеціалізованого мікропроцесора і при низькій частоті зміни вимірювального сигналу (≤ 2000 Гц) приведе до апаратної надмірності. У той же час досить широко застосовують операцію формування кодового сигналу, коли тривалість і амплітуда імпульсів або рівень потенціалів приводять до величини відповідної застосовуваної елементної бази.

Вхідний вимірювальний сигнал піддається перетворенню відповідно до алгоритму роботи ІВС. На якомусь етапі виникає необхідність передачі його по лінії зв'язку. В цьому випадку, як показує досвід, використовують таке перетворення сигналу, як модуляція. При модуляції миттєве значення первинного сигналу або такого, що модулює, керує одним з параметрів допоміжного сигналу, званого несучим. В якості первинного сигналу, що модулює, у вимірювальній техніці використовують аналоговий вимірювальний сигнал.

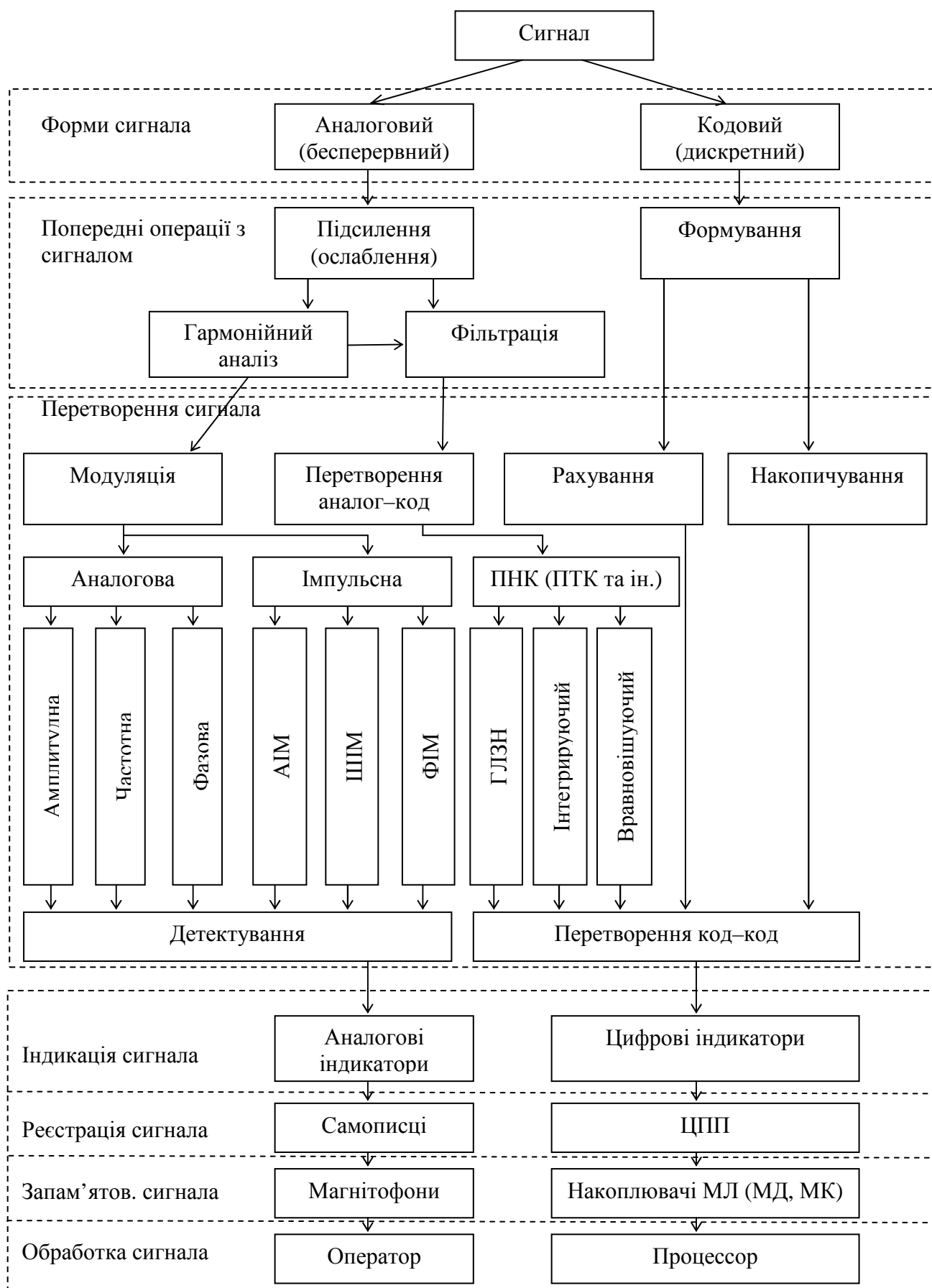


Рис. 2 – Структурна схема послдовності обробки сигналу

Як несучий сигнал використовують синусоїдальний сигнал

$$z(t) = \sin \omega_0 t ,$$

або імпульсний періодичний сигнал

$$\begin{aligned} z(t) &= \sum_{k=1}^{\infty} Z_m f(kT_0 + t) = Z_m \quad \text{при } kT_0 < t < kT_0 + \tau_0; \\ z(t) &= 0 \quad \text{при } kT_0 + \tau_0 < t < (k+1)T_0, \end{aligned}$$

де T_0 – період проходження імпульсів;

$k=0,1,2,3, \dots$;

τ_0 – ширина або тривалість імпульсу;

Z_m – амплітуда імпульсу.

При синусоїдальному несучому сигналі можливе керування кожним з його трьох параметрів - амплітудою, частотою і фазою, в зв'язку з чим розрізняють амплітудну (АМ), частотну (ЧМ) й фазову (ФМ) модуляції. При імпульсному несучому сигналі можливе керування його амплітудою (АІМ), частотою (ЧІМ), шириною імпульсу (ШІМ) й фазою (ФІМ).

Необхідність в модуляції виникає в тому випадку, якщо первинний сигнал $X(t)$ має такий характер, при якому ускладнені його передача, перетворення або обробка при високих вимогах до точності.

Модуляція реалізується шляхом взаємодії сигналів – первинного сигналу $X(t)$, що містить шукану інформацію, і сигналу $z(t)$, що несе, але не утримує інформації. Він має таку фізичну природу і такий характер зміни в часі, при яких зручна реалізація подальших операцій. В результаті взаємодії $X(t)$ і $z(t)$ утворюється модульований сигнал $y(t)$, що містить вимірювальну інформацію, що цікавить нас, і володіє природою і характером зміни в часі, зручними для подальших перетворень.

Модуляцію імпульсних сигналів особливо АІМ і ШІМ в вимірювальній техніці застосовують більш широко, тому що несучий імпульсний періодичний сигнал можна сформувати з високою точністю і стабільністю як за амплітудою, так і за часовими характеристиками. Крім цього, сучасні швидкодіючі мікроелектронні ключі, пристрої порівняння, запам'ятовування і лічильники імпульсів дають можливість з високою точністю керувати амплітудою, тривалістю і частотою імпульсів. АІМ і ШІМ, наприклад, широко застосовують при вимірюванні потужності змінного струму, ШІМ застосовують при перетворенні коду в середнє значення напруги U_{cp} і т.д.

Способи подальшої обробки модульованого сигналу залежать від характеру і повноти інформації, що повинна бути при цьому отримана:

- для одержання найбільш повної інформації про всі параметри первинного сигналу модульований сигнал детектуються або демодулюються;

- при необхідності добування з модульованого сигналу інформації тільки про один інформативний параметр первинного сигналу (звичайно, або з модульованого сигналу виділяють одну зі спектральних складових, один з параметрів якої пропорційний шуканому інформативному параметру сигналу $X(t)$, або безпосередньо вимірюють відповідний параметр модульованого сигналу, наприклад, тривалість імпульсу в ШІМ сигналі, частоту в ЧІМ сигналі і т.д.).

Детектуванням або демодуляцією модульованого сигналу називається перетворення його в сигнал, пропорційний первинному сигналу. Завданням детектування є повне відновлення інформації, що міститься в первинному сигналі, про зміну всіх його параметрів. Кожному виду модуляції відповідає певний спосіб детектування.

Вид модуляції і спосіб детектування залежать від вимог до точності передачі інформативного параметра, що визначені. Для обґрунтованого вибору виду модуляційного перетворення, глибини модуляції, а також співвідношення між частотами несучого і сигналу, що модулює, необхідно насамперед розглянути спектри модульованих сигналів. Спектри при різних видах і параметрах модуляції доцільно зіставляти при однаковому первинному сигналі, звичайно гармонійному коливанні низької частоти.

Найбільш просто виконують детектування імпульсних модульованих сигналів, при цьому досить тільки фільтра нижніх частот. Для детектування гармонійних модульованих сигналів необхідні крім фільтра нижніх частот і інші перетворювачі, наприклад множники, частотно залежні ланки.

Перетворення аналогового вимірювального сигналу в код є важливим перетворенням, що лежить в основі алгоритму роботи лічильника електричної енергії. Таке перетворення ще називають аналого-цифровим перетворенням, а відповідний технічний пристрій – аналого-цифровим перетворювачем (АЦП). АЦП здійснює одночасно два вимірювальних перетворення – квантування і дискретизацію аналогового сигналу.

Квантування є вимірювальним перетворенням величини, що безупинно змінюється, у величину, що східчасто змінюється із заданими розмірами щаблів. Щаблем квантування називають різницю між двома сусідніми заданими значеннями квантованої величини.

Дискретизація сигналу є вимірювальним перетворенням безперервного сигналу $X(t)$ в послідовність миттєвих значень цього сигналу $X_d(kT_c)$, що відповідають певним, звичайно рівновіддаленим, моментам часу kT_c (1, 2, 3,...). Проміжок часу між двома сусідніми моментами дискретизації T_c називають кроком дискретизації.

Перетворювачі аналог - код мають різні назви, що відбивають походження аналогового сигналу. Так, наприклад, є перетворювачі напруга -

код(ПНК), струм - код(ПСК), кут - код і т.д.. Перетворювачі напруга - код залежно від виду перетворення підрозділяють на чотири групи:

- амплитудно - імпульсної модуляції (АІМ);
- час - імпульсної модуляції (ЧІМ);
- частотно - імпульсної модуляції (ЧІМ);
- код - імпульсної модуляції (КІМ).

Перетворення кодового сигналу, що надходить в вигляді послідовності імпульсів, може здійснюватися за допомогою операцій рахунку і нагромадження. в першому випадку здійснюється первинна обробка вимірюваної величини, наприклад з метою її подання за деякий інтервал часу в позиційному коді, а в другому - запам'ятовування в регістрі з наступною обробкою в паралельному коді.

В інформаційно - вимірювальних системах використовують кілька різновидів кодів. Це пов'язано з тим, що ПНК кодує вимірювані величини в одних кодах, виконувати арифметичні дії над числами зручно в інших кодах, високу перешкодозахищеність переданої інформації можна забезпечити в третіх кодах, візуальна індикація вимагає використання інших кодів і т.д. Тому в ІВС широко використовують перетворювачі код - код, що в найпростішому випадку являють собою дешифратор.

Подальші операції з сигналом (індикація, реєстрація і запам'ятовування) для різних форм сигналу відрізняють апаратним виконанням і мають місце в сучасних ІВС. Причому їхнє застосування обумовлене не тільки технічною або економічною доцільністю, але і ергономічними міркуваннями, правилами ведення оперативної документації і аналізу кризових ситуацій.

Обробка сигналу являє собою найбільш складну операцію, оскільки припускає не тільки аналіз результатів виміру, але і прийняття управлінських рішень. Тому в енергетиці всі частіше застосовують експертні системи, що опираються на багатоканальні ІВС і потужні бази даних.

Аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) вирішують завдання пошуку однозначної відповідності аналоговому сигналу цифрового коду. На вхід АЦП надходить аналоговий сигнал і після певного кінцевого часу перетворення на його виході з'являється цифровий код.

В даний час розроблено багато різних методів аналого-цифрового перетворення, наприклад, методи послідовного рахунку, порозрядного зрівноваження, подвійного інтегрування; з перетворенням напруги в частоту, паралельного перетворення.

Фірма Analog Devices є світовим лідером в області АЦП і інших мікросхем (ІМС). Серед АЦП, випущених фірмою, - сігма-дельта АЦП, що володіють високою точністю, забезпечуваною високою розрядністю і лінійністю перетворення без застосування багаторівневих граничних пристроїв, а також ефективною фільтрацією перетвореного сигналу.

Сігма-дельта АЦП складають, в основному, з двох частин – сігма-дельта модулятора й перетворюючого цифрового фільтра. На вході

модулятора – перетворений аналоговий сигнал, а на його виході – сигнал, що представляє собою послідовність одиничних ("1") і нульових ("0") посилок, загальна частота проходження яких дорівнює тактовій частоті f_T . Тривалість кожної послілки, "1" і "0", дорівнює

$$\tau = 1/f_T.$$

Частота проходження посилок "1" (в складі зазначеної послідовності) пропорційна вхідному сигналу і дорівнює

$$f_{\text{мод}} = f_T \cdot n_1 / (n_1 + n_0), \quad (1)$$

де n_1 і n_0 – кількість посилок "1" і "0" на обираному інтервалі дискретизації.

Сігма-дельта модулятор аналогічний до побудови ЧІМ модулятору і також є частотним, але його вихідна послідовність, завдяки тактовій синхронізації, відрізняється від послідовності імпульсів ЧІМ модулятора. В сигналі ЧІМ модулятора тривалість імпульсів постійна, а частота їхнього проходження може приймати будь-які значення, пропорційні вхідному сигналу – в межах діапазону частот модулятора. В сигналі сігма-дельта модулятора тривалості посилок τ постійні. Але, залежно від частоти (1), вони можуть утворювати імпульси і інтервали, тривалість яких кратна τ . В результаті імпульси і інтервали є квантованими, і в складі сигналу сігма-дельта модулятора присутній шум квантування.

Сигнал сігма-дельта модулятора надходить на вхід цифрового фільтра, завдання якого полягає в перетворенні сигналу модулятора в цифровий сигнал АЦП. Звичайно це КІХ фільтр з багаторозрядним виходом, але з однорозрядним (молодшого розряду) входом. Фільтр має властивість підсумовування, як показано на рис. 3.

На рис. 3, а зображені тактові імпульси з частотою проходження f_T , а на рис. 3, б – імпульси дискретизації, частоту проходження яких обирають, виходячи з необхідної розрядності N цифрового сигналу, відповідно до залежності

$$f_D = f_T / 2^N. \quad (2)$$

Частоту f_D , відповідно до (2), одержують шляхом ділення f_T на 2^N . Тактові імпульси дискретизації на рис. 3 умовно показані короткими. Звичайно це імпульси, що мають скважність рівною двом.

На рис. 3, в показано послідовність посилок сігма-дельта модулятора з $f_{\text{мод}} = 3 \cdot f_T / 5$, а на рис. 3, г-з – 5-розрядна послідовність на виході фільтра і, відповідно, АЦП в цілому. Звичайно $N=12, 16, 20$ або 24 , а тут $N=5$ для спрощення рисунка. Цифровий код послідовності на інтервалі вимірювання дорівнює 10011.

На попередньому інтервалі він також дорівнює 10011, а на наступному - 10100. Зміна коду від інтервалу до інтервалу (в молодших розрядах) компенсує похибку, обумовлену квантуванням. В цьому - ще одна з переваг сігма-дельта АЦП.

Код визначається кількістю посилок "1" на інтервалі дискретизації, рівному, згідно (2),

$$\Delta t = 1/f_D = 2^N / f_T = 2^N \cdot \tau \quad (3)$$

і пропорційний середньому значенню перетвореного сигналу на цьому інтервалі. Тому що перетворений сигнал, що виражається зазначеним кодом, визначається середнім значенням вимірюваної величини. Це є причиною його частотної залежності, що виражається функцією

$$\sin(\pi \cdot F / f_D) / (\pi \cdot F / f_D), \quad (4)$$

яка визначає АЧХ перетворення. В (4) F - частота перетвореного сигналу. На рис. 3, г-з, для спрощення, послідовності кодових посилок є рівними інтервалу дискретизації і без затримки перетворення.

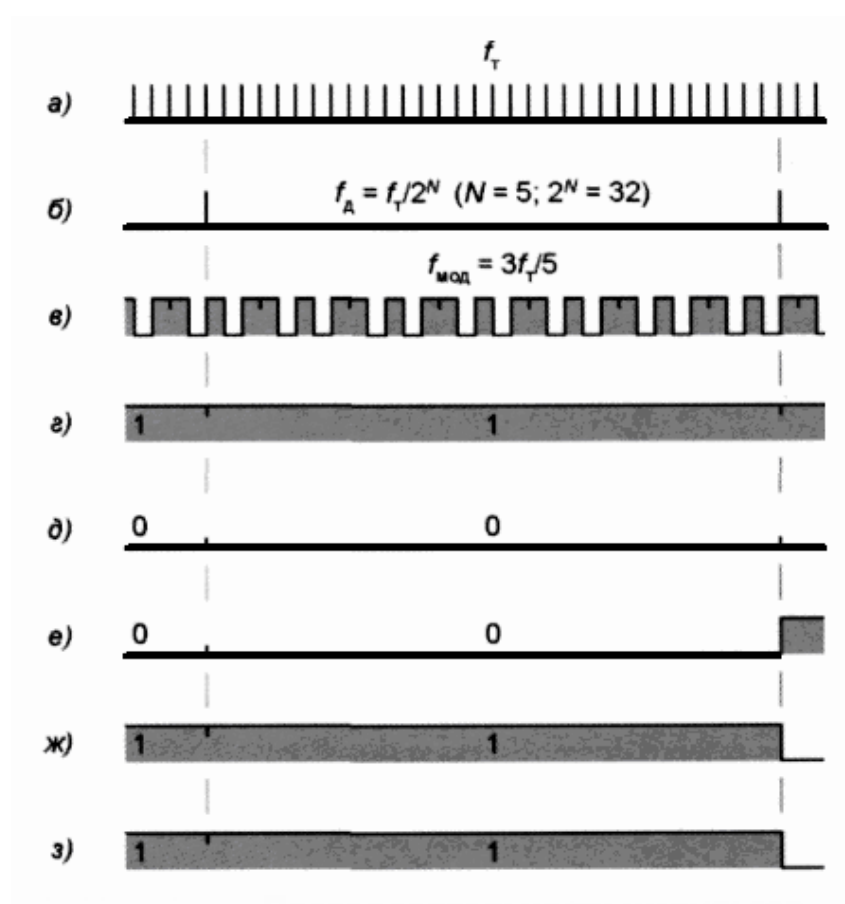


Рис. 3 - Послідовності імпульсів тактової (а) і частоти дискретизації (б), сігма-дельта модулятора (в) і 5-розрядних даних АЦП (г-з)

Підкреслимо, що функція (4) є функцією перетворення, а не фільтра, який, якщо розглядати його автономно, володіє гребінчастою АЧХ. Функція (4) має плавний спад від максимуму до нуля на частоті $F = f_D$. Потім нульові значення функції повторюються на частотах $2f_D$, $3f_D$, ..., при загальному спаді максимумів функції з ростом частоти. АЦП можуть мати додаткові фільтри, що впливають на загальну АЧХ АЦП. На рис. 4 показано АЧХ АЦП AD7787/88/89/90/91, на якій в якості функції, що огинає, проглядається функція з першим спадом до нуля на частоті 50 Гц.

Цим забезпечується пригнічення мережного наведення 50 Гц. АЧХ на рис. 4 характерна тим, що в зазначену огинаючу вписано іншу функцію, що додатково забезпечує пригнічення мережного наведення на частоті 60 Гц.

На рис. 5 наведено узагальнену структурну схему ІМС AD7787/88/89/90/91.

ІМС містять АЦП (сігма-дельта АЦП), що може бути 16- або 24-розрядним, послідовний інтерфейс з керуючою логікою і генератор тактових імпульсів (ГТІ).

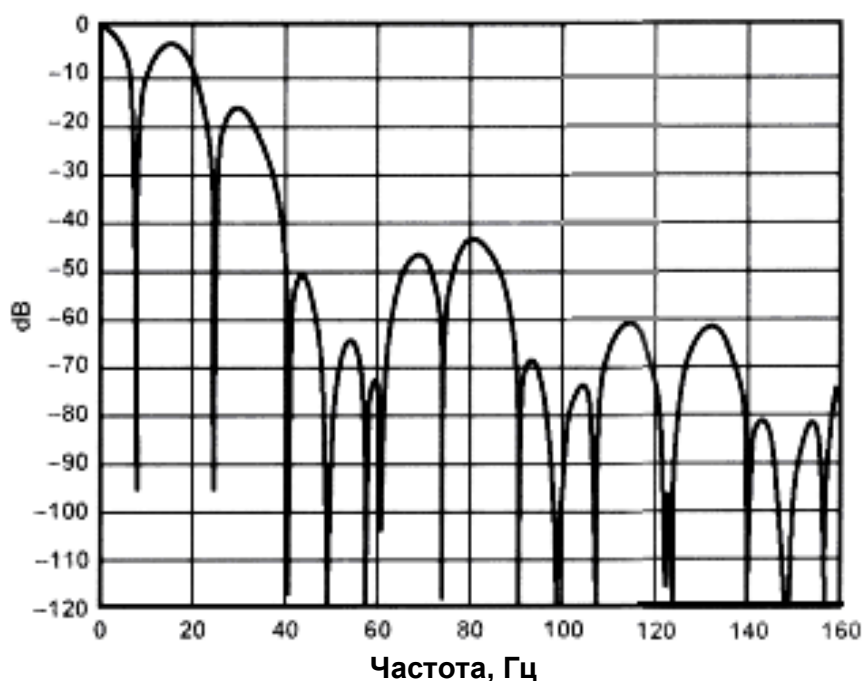


Рис. 4 - Частотна характеристика АЦП AD 7787/88/89/90/91 на частоті відліків 16.6 Гц

Зазначені структурні елементи є в всіх АЦП. Крім того, в AD7787/90/91 перед входом АЦП розміщується буферний каскад, що при необхідності може бути відключений. AD7790 після АЦП міститься цифровий підсилювач з програмувальним коефіцієнтом підсилення, а AD7787 - мультиплексор (MUX) на вході ІМС.

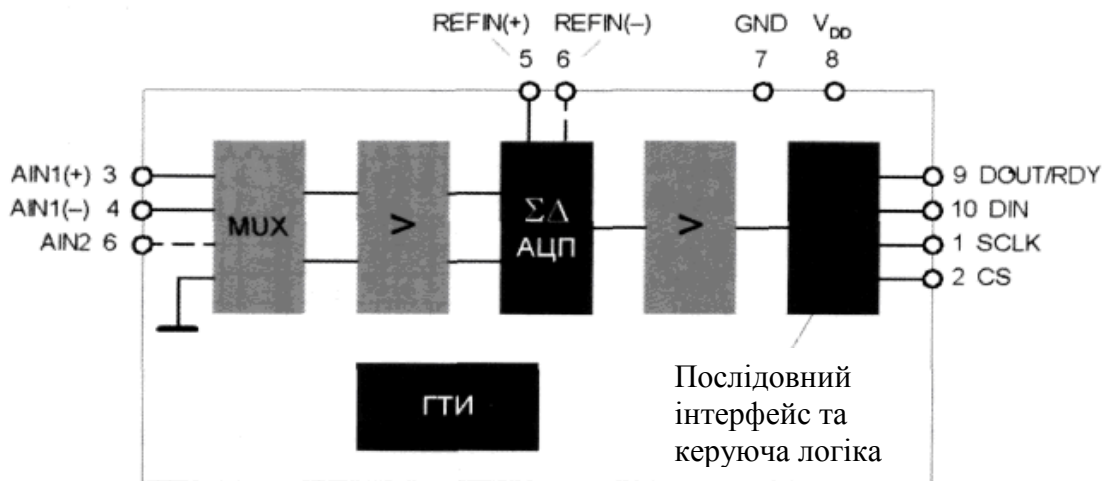


Рис. 5 - Узагальнена структурна схема АЦП AD 7787/88/89/90

Підсилювач в AD7790 являє собою цифровий перемножник, на один з входів якого подається підсилений цифровий сигнал, а на іншій - код постійного рівня, який можна розглядати як множник, що відповідає коефіцієнту підсилення в звичайному аналоговому підсилювачі.

Всі ІМС містять диференціальний вхід з виводами AIN1(+) і AIN1(-) в AD7787 або AIN(+) і AIN(-) в AD7788/ 89/90/91, а AD7787, крім того, має синфазний вхід з виводом AIN2. Мультиплексор в AD7787 призначений для комутації диференціального і синфазного входів. Джерело опорної напруги - зовнішній, виводи для його підключення: REFIN(+) і REFIN(-) в AD7788/89/90/91 (диференціальний вхід), REFIN в AD7787 (синфазний вхід). Останнє обумовлено тим, що вивід 6 (рис. 5) використовують в AD7787 для синфазного входу AIN2. Використання буферного каскаду підвищує вхідний опір ІМС (точніше, знижує струм витоку на вході). Буферний каскад може бути відключений, при його відключенні споживання ІМС (колом живлення) зменшується вдвічі.

ІМС мають вбудований генератор імпульсів тактової частоти (ГТІ на рис. 5). Частота відліків на виході АЦП становить 16.6 Гц для AD7788/89, який відповідає АЧХ на рис. 4. В інших ІМС, AD7787/90/91, частота відліків може бути в межах від 9.5 до 120 Гц (при номінальному значенні 16.6 Гц). Тактова частота в AD7787/90/91 може бути зменшена в 2, 4 або 8 разів, що додатково змінить частоту відліків. Як при зміні частоти відліків (у межах від 9.5 до 120 Гц), так і при розподілі тактової частоти масштаб частоти на рис. 4 відповідно зміниться.

Тип коду на виході АЦП залежить від типу вхідного сигналу ІМС. Для уніполярного сигналу (без зсуву) це звичайний двійковий код, для біполярного (зі зсувом) - зміщений двійковий. В обох випадках це значення коду 000...000 (мінімальне значення), 100...000 (середнє значення й нуль для зазначених двох кодів відповідно), 111...111 (максимальне значення).

ІМС мають керуючу логіку й 3-провідний послідовний інтерфейс, що є сумісним з SPI, QSPI, MICROWIRE й DSP. Зовнішній мікроконтролер, що підключається до виводів SCLK, CS, DOUT/RDY і DIN, разом з інтерфейсом

і логікою забезпечує керування ІМС, вибором її конфігурації і режимів роботи, а також забезпечує зчитування цифрових даних, що надходять з виходу АЦП.

ІМС AD7787/88/89/90/91 призначені для перетворення повільних і низькочастотних сигналів різних датчиків і інших приладів. До синфазного входу може бути додатково підключений датчик температури. Або, наприклад, обидва входи можуть бути використані для перетворення сигналів, що контролюють роботу акумулятора, - струму заряду/розряду (диференціальний вхід) і напруги на акумуляторі (синфазний вхід). При підключенні джерел перетворених сигналів до диференціального входу ІМС варто враховувати також і синфазну напругу на цьому вході.

ІМС AD7787/88/89/90/91 мають підвищений діапазон робочих температур – від -40°C до $+105^{\circ}\text{C}$ (крім одного з варіантів AD7788). Суфікс в позначенні мікросхем складається з двох частин: "B" або "A", обумовленої діапазоном температур, і "RM", обумовленої типом корпусу (AD7787BRM, AD7788ARM,...). Корпус MSOP (Mini Small Outline Package) - одного типу для всіх розглянутих ІМС, з якими AD7788/89/90/91 електрично сумісні по виводах, а AD7787 має відмінність по виводу 6.

ЛЕКЦІЯ 2

ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ПОТУЖНОСТІ

У теперішній час широке застосування знайшли вимірювальні перетворювачі потужності (ВПП) в ваттметрах і лічильниках електроенергії в енергетиці й на електротранспорті.

Залежно від призначення ВПП його вихідний сигнал може бути пропорційний миттєвій потужності

$$p(t) = u(t) \cdot i(t),$$

активній (середній) потужності

$$P = 1/nT \int_0^{nT} u(t) \cdot i(t) dt,$$

реактивній потужності

$$Q = 1/nT \int_0^{nT} u(t) \cdot i(t \pm \Delta t\pi/2) dt,$$

або повній потужності

$$S = 1/nT \sqrt{\int_0^{nT} u^2(t) dt \int_0^{nT} i^2(t) dt}.$$

Для синусоїдального струму і напруги

$$P = UI \cos \varphi;$$

$$Q = UI \sin \varphi;$$

$$S = UI,$$

де U, I – діючі значення напруги й струму, фазове зрушення між миттєвими значеннями яких дорівнює φ .

Існують наступні основні структури цифрових вимірників потужності:

- с проміжними аналоговими перетвореннями потужності в інформативний параметр електричного сигналу і наступним перетворенням аналог - код (рис. 6,а);

- с перетворенням інформативних параметрів вхідних сигналів в код і визначенням результату за допомогою цифрових обчислювальних пристроїв (рис. 6,б).

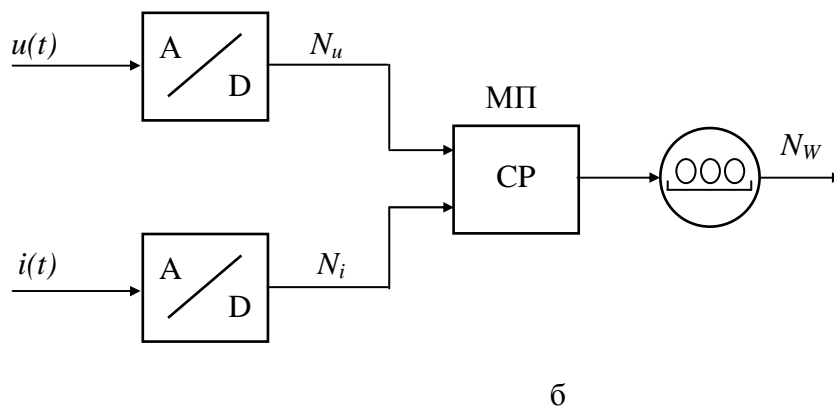
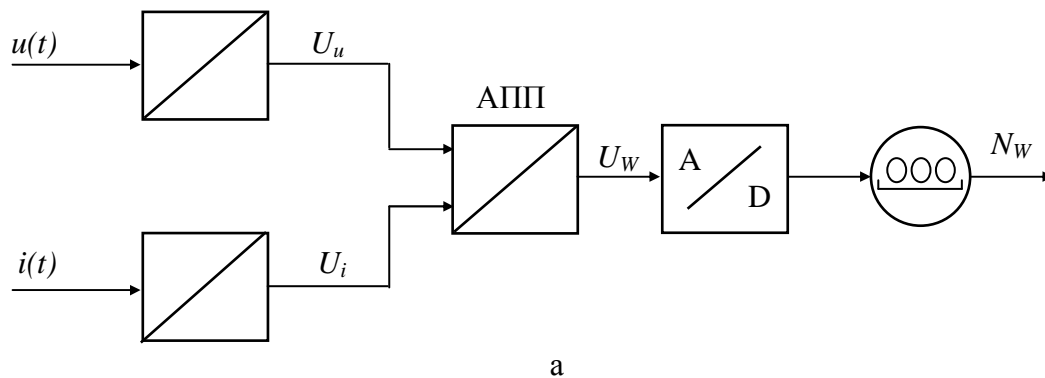


Рис. 6 - Структури цифрових вимірників потужності:

а – з аналоговим перетворювачем потужності; б - з кодуванням миттєвих значень струму і напруги та наступним обчисленням значення потужності

Структура цифрового вимірника потужності з аналоговим вимірювальним перетворювачем потужності припускає здійснення аналогового помноження напруги, пропорційної струму, на напругу, пропорційну напрузі. Ця операція може бути виконана за допомогою

вимірювального перетворювача на основі ефекту Холу.

У гальваномагнітних перетворювачах використовують вторинні ефекти, що виникають в провідниках або напівпровідниках зі струмом при впливі на них магнітного поля. Практичне застосування одержав ефект Холу, що полягає в появі ЕРС між точками, екіпотенціальними при відсутності магнітного поля і ефект зміни електричного опору. На першому ефекті засновані перетворювачі Холу, на другому - магніторезистори і магнітодіоди.

Перетворювач Холу являє собою чотирьохполюсник (рис.7), виконаний в вигляді тонкої пластини з напівпровідникового матеріалу.

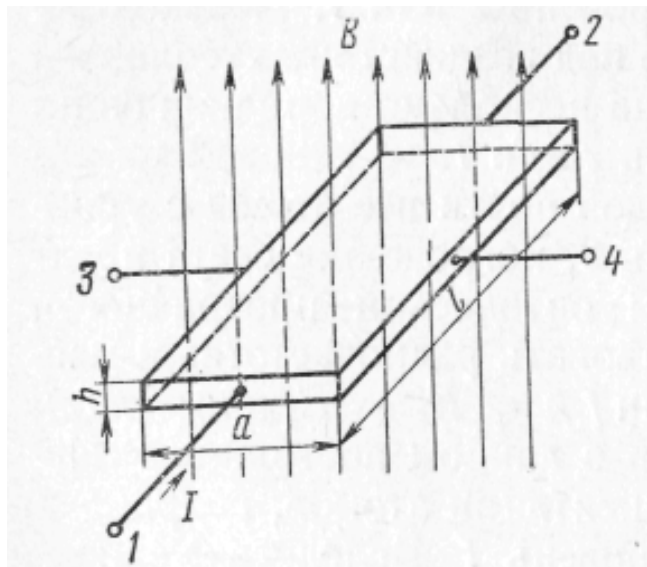


Рис. 7 - Принцип роботи перетворювача Холу

Виводи 1 і 2 - струмові, вони служать для підключення перетворювача до зовнішнього джерела струму, а два інших (3 й 4) - потенційні, між якими виникає ЕРС.

Якщо перетворювач помістити в магнітне поле, вектор магнітної індукції якого B спрямований перпендикулярно площини перетворювача, то носії струму (вільні електрони й «дірки») під дією сил Лоренца відхиляться до однієї з бічних граней, внаслідок чого на ній створюється надлишок зарядів одного знака, а на протилежній грані виникає заряд іншого знака. В результаті між виводами 3 і 4 з'являється ЕРС $E_{хл}$, звана ЕРС Холу, і відповідне електричне поле Холла.

З рівняння рівноваги сил, що діють на носії струму, можна одержати рівняння перетворення перетворювача для режиму заданого струму у вигляді

$$E_{хл} = R_{хл} \frac{IB}{h} F\left(\frac{\ell}{a}, \mu, B\right) \sin \alpha, \quad (5)$$

де $R_{хл}$ – постійна Холу, що залежить від властивостей напівпровідника;

ℓ , a , h – відповідно довжина, ширина й товщина перетворювача;
 μ – рухливість носіїв струму;
 I - струм у перетворювачі;
 $F\left(\frac{\ell}{a}, \mu, B\right)$ – поправочна функція;
 α – кут між вектором B і площиною перетворювача.

Ефект Холу сильно проявляється в матеріалах з лише електронною або тільки дірочною провідністю, і він тим сильніше, чим менше концентрація носіїв струму і чим більша їхня рухливість. З цієї причини перетворювачі Холу виготовляють з напівпровідників, в яких переважає один з видів провідимостей. в чистих металах концентрація вільних електронів на 6-9 порядків більше, ніж в напівпровідників, а рухливість електронів мала.

Перетворювачі Холу виготовляють кристалічні і плівкові. Кристалічні перетворювачі виконують у вигляді тонких пластинок ($h = 0,1 \dots 0,5$ мм), вирізаних з монокристалів Ge, Si або з кристалів хімічних сполук InAs, InSb, HgSe, HgTe та ін. Струмові виводи припаюють всією довжиною граней, а потенційні - до середини граней. Плівковий перетворювач разом з виводами виконують випарюванням у вакуумі вихідної речовини, що осаджується тонким шаром ($h = 1 - 20$ мкм) на ізоляційній підкладці 2, наприклад зі слюди. Ці перетворювачі можна виготовляти складної форми і дуже малих розмірів.

Оскільки потенційні виводи не вдається встановити точно в еквіпотенційних точках, то між цими виводами при $B = 0$ виникає деяка напруга $U_{не}$, і в цьому відношенні перетворювач характеризується коефіцієнтом нееквіпотенціальності

$$k_{не} = U_{не} / U,$$

де U – вхідна напруга.

Оскільки вихідна величина перетворювача залежить від двох вхідних величин I і B , то його чутливість – гальваноманітна чутливість

$$S_{IB} = E_{хл} / IB = R_{хл} / h,$$

приймаючи функцію F такою, що дорівнює одиниці і $\alpha = 90^\circ$. При $I = \text{const}$ можна говорити про чутливість до магнітної індукції, а при $B = \text{const}$ - про чутливість до струму.

На рис. 8, а і б наведено характеристики $E_{хл} = f(B)$ і $E_{хл} = f(I)$ перетворювачів, виготовлених з різних матеріалів, а на рис. 8, в показано залежність чутливості до струму S_I від індукції B для перетворювачів різних розмірів.

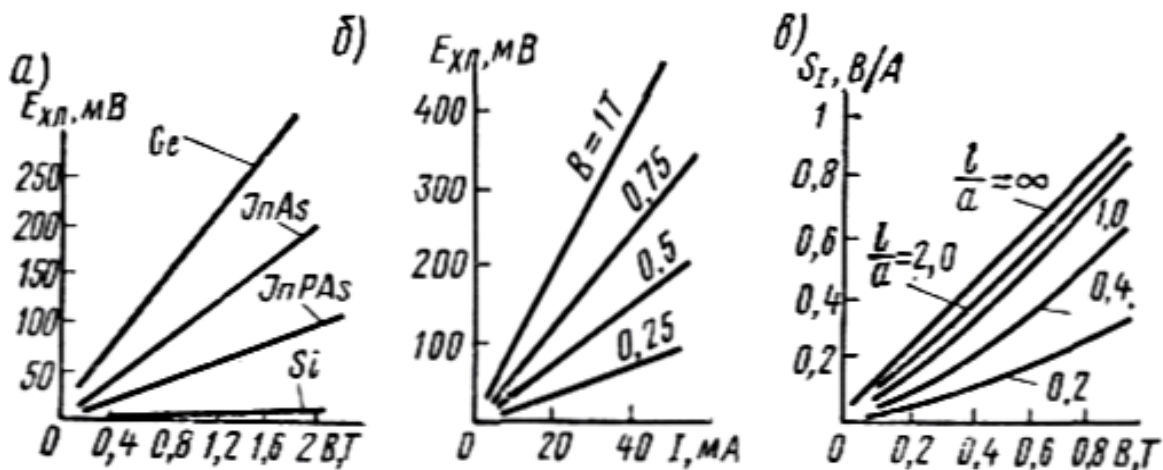


Рис. 8 - Графіки залежності характеристик перетворювача Холу від температури

В постійному магнітному полі й при живленні перетворювача постійним струмом ЕРС теж постійна. Якщо ж одна з вхідних величин змінна, то на виході перетворювача виникає змінна ЕРС тієї ж частоти, що й частота вхідної величини. Якщо струм змінюється з частотою ω_1 , а магнітна індукція з частотою ω_2 , то ЕРС складається з суми двох складових, одна з яких змінюється з частотою $(\omega_1 - \omega_2)$, а інша – з частотою $(\omega_1 + \omega_2)$. В окремому випадку, коли струм і магнітна індукція мають одну й ту саму частоту і зрушені за фазою на кут φ , ЕРС має постійну складову й змінну подвійної частоти

$$E_{\text{хл}} = \frac{R_{\text{хл}} B}{h} I \cos \varphi - \frac{R_{\text{хл}} B}{h} I \cos(2\omega t + \varphi).$$

У постійному магнітному полі й при живленні перетворювача змінним струмом ЕРС не змінюється при зміні частоти струму в широкому діапазоні - до десятків мегагерц. В змінному ж магнітному полі в перетворювачі виникають вихрові струми, з якими пов'язано збільшення ЕРС, що особливо помітно, якщо перетворювач перебуває в середовищі з великою магнітною проникністю (наприклад, в вузькому зазорі магнітопровода).

На рис. 9 наведено частотну характеристику перетворювача з InAs, що перебуває в вузькому зазорі феритового осердя. На рисунку по осі ординат відкладено відношення ЕРС $E_{\text{хл}f}$ при частоті f до ЕРС $E_{\text{хл}0}$ при $f = 0$.

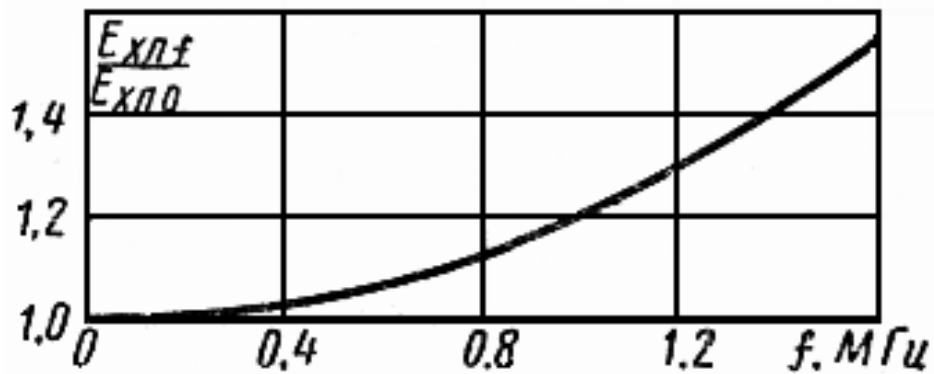


Рис. 9 - Графік амплітудно-частотної характеристики перетворювача Холу

Похибки перетворювачів Холу обумовлені в основному температурою, напругою нееквіпотенціальності, нестабільністю параметрів в часі, паразитної ЕРС, яка індукується у вихідному колі змінним магнітним полем, а також ефектами випрямлення і термо-ЕРС, що виникають в місці приєднання потенційних виводів.

Температура впливає на рухливість носіїв струму, питомий електричний опір і постійну Холу. Температурна похибка в кращих типів перетворювачів Холу становить $0,02...0...0,1\%/1^{\circ}\text{C}$, в діапазоні температур від -40 до $+100^{\circ}\text{C}$. Зменшення цієї похибки досягається шляхом використання коригувальних ланцюгів і термостатизуванням перетворювача.

Напруга нееквіпотенціальності $U_{не}$, особливо його температурна залежність, що може досягати десятків мікр вольт на градус, обмежує поріг чутливості і точність перетворювачів.

На рис. 10 наведено деякі схеми компенсації напруги нееквіпотенціальності. Майже повна компенсація досягається при використанні перетворювачів з п'ятьма виводами (рис. 10, а і б). Опір R (рис. 10, в) залежно від полярності $U_{не}$ включається між затискачами 1–4 або 2–4. Усі схеми володіють тим недоліком, що компенсація порушується при зміні температури і магнітної індукції. Більш радикальним є виготовлення перетворювачів з однорідного матеріалу і зміцнення потенційних виводів в еквіпотенціальних точках.

Нестабільність чутливості перетворювачів становить $0,2-1,0\%$ протягом року і в основному залежить від технології їхнього виготовлення. Кристалічні перетворювачі мають більш стабільні характеристики, ніж плівкові.

Уникнути індукування ЕРС від змінного магнітного поля можна правильним розташуванням потенційних виводів: щоб вони не утворювали контуру, що пересікається магнітним потоком.

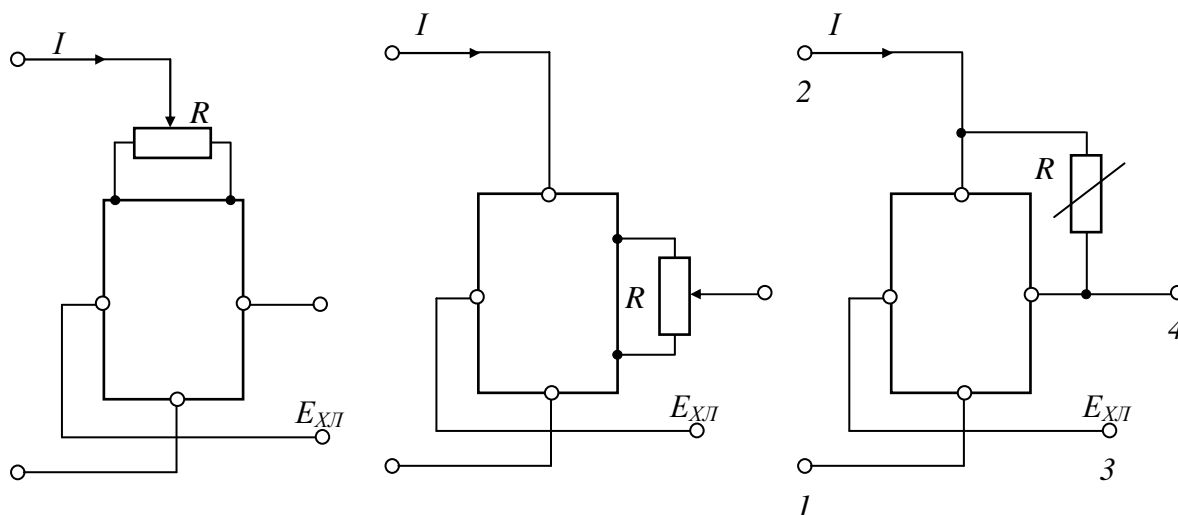


Рис. 10 - Схеми компенсації напруги нееквіпотенціальності перетворювача Холу

Варто враховувати нелінійність рівняння перетворення. Для різних типів перетворювачів в діапазоні $B = 0...1 \dots 1 \text{ Т}$ нелінійність становить $0,5...4...4,0\%$, а в діапазоні $0...2 \dots 2 \text{ Т}$ вона може досягати 10% . Лінеаризація рівняння $E_{\text{ХЛ}}=f(B)$ здійснюється вибором геометричних розмірів перетворювача, включенням послідовно з перетворювачем Холу магніторезистора, що поміщається в магнітне поле, а також використання спеціальних ланцюгів корекції.

Грунтуючись на виразі (5) для перетворювача Холу, можна побудувати ватметр, якщо одну з вхідних величин, наприклад індукцію B , зробити пропорційною напрузі, а іншу – струм I – струму через навантаження. Тоді ЕРС Холу буде пропорційна потужності. На рис. 11 зображено ватметр із перетворювачем Холу.

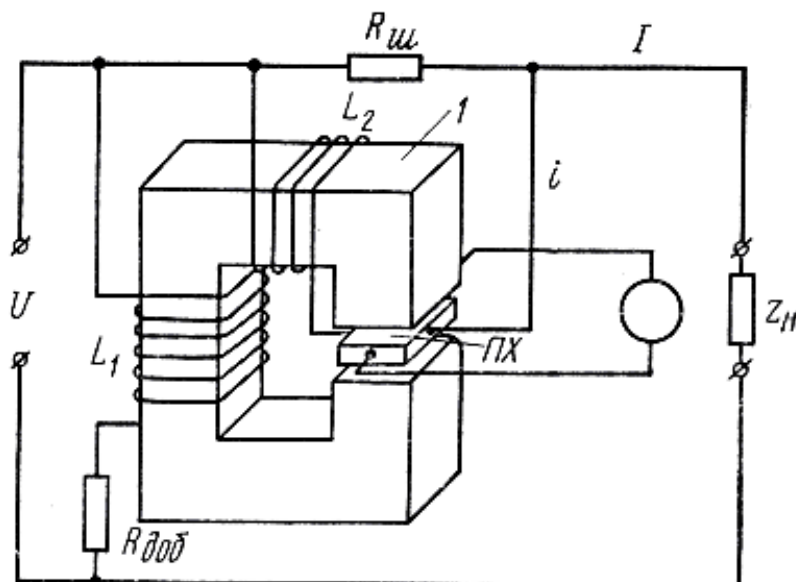


Рис. 11 - Ватметр з перетворювачем Холу

Перетворювач Холу (ПХ) поміщають в вузький зазор магнітопровода 1, що намагнічується обмоткою L_1 , ввімкненою паралельно джерелу, тоді як струм I , що протікає через перетворювач, обумовлений спаданням напруги на шунті $R_{ш}$, пропорційний струму навантаження I .

Індуктивність L_2 у послідовному ланцюзі служить для корекції частотних похибок, пов'язаних з тим, що в паралельному ланцюзі струм трохи відстає від напруги U , подібно тому, як це має місце в електродинамічних ватметрах.

Поряд з іншими способами, операцію аналогового перемноження можна виконати за допомогою широтно-імпульсного множника на основі використання перетворювача напруга - час (рис. 12).

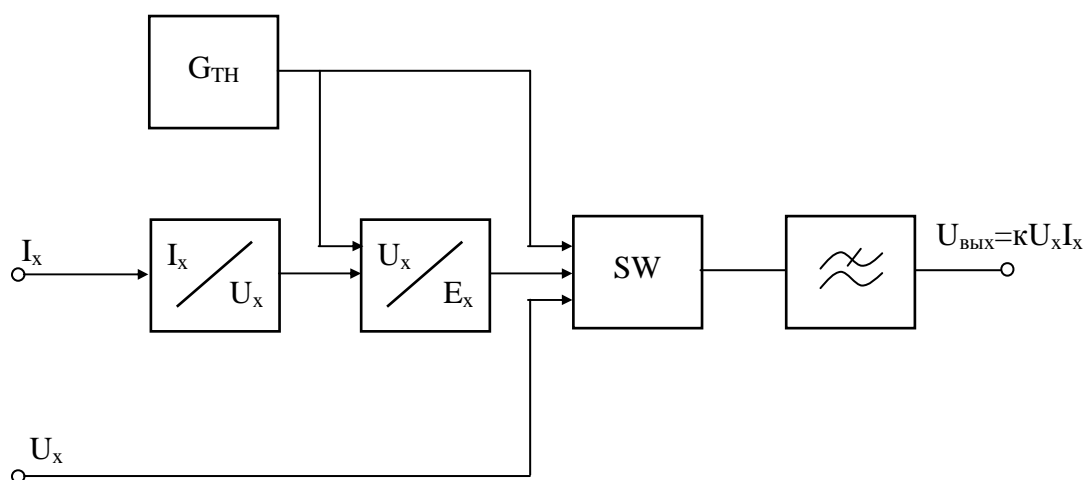


Рис. 12 - Структурна схема реалізації операції множення за методом широтно-імпульсної модуляції

Напруга пропорційна струму U_{I_x} перетворюється з частотою $f = 1/T$ в інтервалі часу $\tau_x < T$. Друга вхідна напруга U_x модулюється ключем, що замикається на час $\tau_x = KU_{I_x}$ з частотою $f = 1/T$. Вихідний сигнал після ключа SW потрапляє на фільтр нижніх частот, середнє значення вихідної напруги якого дорівнює

$$U_{\text{вих}} = K_1 \tau_1 U_x = K_2 U_{I_x} U_x = K_3 I_x U_x.$$

Структури з перетворенням інформативних параметрів вхідних сигналів в код припускають цифрове перемноження їхніх миттєвих значень і осереднення результатів або цифрове перемноження інтегральних значень. У першому випадку значення вимірюваної потужності визначається з виразу

$$N_w = T_{\text{ц}}/T \sum_{R=1}^n N_u(kT_{\text{ц}}) N_i(kT_{\text{ц}}) = 1/n \sum_{R=1}^n N_w(kT_{\text{ц}}),$$

де n – число миттєвих значень $N_u(kT_{\text{ц}})$ і $N_i(kT_{\text{ц}})$ обох сигналів в дискретні моменти часу t_k за період T з кроком дискретизації $T_{\text{ц}}$.

Структуру даного методу зображено на рис. 6, б. Вона містить два перетворювачі миттєвих значень $u(t)$ і $i(t)$ в код, мікропроцесор і цифровий відліковий пристрій. Застосування цього методу найбільш ефективно в ланцюгах з сигналами низьких та інфранизьких частот.

ЛЕКЦІЯ 3

МІКРОПРОЦЕСОРИ

Мікропроцесор (МП) – програмно-керований пристрій обробки інформації, як правило, виконаний на одиній великій (VLS) або надвеликій (HLS) інтегральній схемі.

Мікропроцесорний пристрій (система) – пристрій (система), виконаний на основі МП.

Мікроконтролер – функціонально закінчений мікропроцесорний керуючий пристрій, призначений для безпосереднього вбудовування в об'єкт керування, що містить на одному кристалі, крім МП, модулі пам'яті програм і даних, а також необхідні інтерфейсні схеми. Мікроконтролерами називають також і могутніші одноплатні МП пристрої, що використовують сучасні високопродуктивні МП, але також призначені для застосувань, що передбачають вбудовування в технологічний модуль.

Однокристална мікроЕОМ – мікросхема, на кристалі якої реалізований мікропроцесор і блоки, необхідні для зв'язку з об'єктом керування.

Контролер (у перекл. з англ. – керуючий) – термін, широко використовуваний в МП техніці, має різний сенс залежно від характеру застосування. Найбільше часто застосовують як назву пристроїв керування периферійним устаткуванням комп'ютерних систем (контролер клавіатури, контролер дисплея, контролер послідовного інтерфейсу та ін.).

Програмований логічний контролер (ПЛК) – спеціалізований МП пристрій, пристосований до роботи безпосередньо в тяжких режимах експлуатації промислового устаткування.

Комп'ютер (у перекладі з англ. – обчислювач) – обчислювальний пристрій. Сучасний комп'ютер являє собою універсальний програмно-керований пристрій, що забезпечує ручне й автоматичне введення алфавітно-цифрової, графічної і іншої інформації, її автоматичну обробку, синхронну візуалізацію процесу обробки, оперативне і тривале зберігання отриманих результатів, а також вивід їх на носії інформації різної природи.

Пристрій пам'яті МП систем – пристрої, призначені для зберігання керуючих програм і даних, що підлягають обробці. Всі пристрої пам'яті ділять на внутрішні і зовнішні, енергозалежні (оперативні – які втрачають інформацію при відключенні електроживлення) і енергонезалежні (постійні).

НГМД – накопичувач на гнучкому магнітному диску (FDD – Floppy Disk Drive), використовують в якості зовнішньої змінної пам'яті комп'ютерних систем.

НЖМД – накопичувач на жорсткому магнітному диску (HDD – Hard Disk Drive), який називають також "вінчестер", – використовують в якості зовнішньої незмінної пам'яті комп'ютерних систем.

CD-ROM – загальна (базова) назва накопичувачів на компакт-дисках (Compact Disk Read Only Memory).

Флеш-пам'ять – зовнішня для мікропроцесора пам'ять, реалізована в вигляді мікросхеми і виконуюча функції жорсткого диска. Від останнього відрізняється високою стійкістю до ударів і вібрації.

Пам'ять – функціональний блок ЕОМ для зберігання, запису і зчитування інформації, представленої в основному в формі електричних напруг, що відповідають запису чисел у двійковій системі числення.

ПЗП – мікросхема постійного запам'ятовувального пристрою, мікросхемна реалізація пам'яті. Програмується одноразово на заводі-виробнику; в загальному випадку використовують базову аббревіатуру ROM (Read Only Memory).

ППЗП (PROM) – однократно програмувальна користувачем ПЗП мікросхема.

СППЗП (EPROM) – мікросхема перепрограмувальна користувачем ПЗП з ультрафіолетовим стиранням збереженої програми через спеціальне

вікно в корпусі мікросхеми. Для запису і стирання використовують спеціальний пристрій - програматор.

ЕСППЗП (EPROM) – ПЗП з електричним стиранням й записуванням програми. Запис і стирання виконують без використання додаткових зовнішніх пристроїв безпосередньо на платі, де реалізована мікроЕОМ. Для зберігання інформації не потрібна напруга живлення.

ОЗП (RAM) – мікросхема (мікросхеми), що реалізує оперативний запам'ятовувальний пристрій. Призначена в основному для запису, зчитування і тимчасового зберігання програм і даних користувача. При зникненні напруги живлення інформація губить. Час доступу до ОЗП при записі значно менший, ніж до ЕСППЗП, і тому мікросхеми ОЗП в найближчій перспективі не будуть замінені схемами ЕСППЗП. В загальному випадку використовують базову аббревіатуру RAM (Random Access Memory), що дослівно означає "пам'ять з довільним доступом".

Кеш – допоміжна оперативна пам'ять, не доступна для програміста. Розміщується функціонально між мікропроцесором і ОЗП. Служить для підвищення швидкодії. В ній зберігається і обновлюється дубльований з ОЗП вміст осередків з найбільш часто вживаними в програмі командами.

Таймер – мікросхема для підрахунку числа імпульсів напруги, реалізації затримки імпульсів на заданий час, генерації серії імпульсів заданої частоти, визначення тривалості одиничного імпульсу і інших подібних застосувань.

Інтерфейс – сукупність пристроїв і правил, за якими реалізований обмін інформацією. В більш вузькому значенні інтерфейс - це мікросхема, що виконує зазначені функції.

Паралельний інтерфейс – мікросхема, що реалізує пересилання інформації в паралельному коді (електричне подання двійково-кодованих чисел) по шині з 8, 12, 16 паралельних електричних провідників. Паралельний інтерфейс забезпечує ввід-вивід інформації, наприклад вивід з комп'ютера на принтер.

Послідовний інтерфейс – мікросхема, що реалізує пересилання інформації в послідовному коді за двохпровідній лінії. Імпульси напруги двійково-кодованих чисел передають послідовно один за одним. Послідовний інтерфейс служить для пересилання інформації між окремими комп'ютерами (телефонними лініями) або між керуючим комп'ютером і окремим об'єктом керування (більш ніж на 5-10 м). Як правило, послідовний інтерфейс використовують в парі з модемом (модулятором-демодулятором).

Обмін – обмін інформацією, процедура пересилання інформації в формі паралельного або послідовного коду.

Переривання – тимчасове припинення виконання поточної програми і перехід до виконання іншої програми (як правило, підпрограми) з наступним

поверненням назад. Переривання ініціюється «зненацька» для мікроЕОМ за сигналом будь-якого зовнішнього пристрою, наприклад датчика аварійної ситуації, або за сигналом внутрішнього таймера для виконання однієї і тієї ж підпрограми через строго фіксовані проміжки часу.

Обмін за перериванням – пересилання інформації, що виконується в результаті входження мікроЕОМ в режим обробки сигналу, що надійшов (запиту) на переривання.

Порт, з погляду програміста, – це адреса зовнішнього пристрою (паралельного інтерфейсу, таймера та ін.), за яким можна зробити запис інформації (наприклад, для програмування мікросхеми на певний режим роботи або для виводу інформації з комп'ютера) або її зчитування. З апаратурної точки зору порт - це елемент пам'яті, що тимчасово зберігає і пересилає інформацію. З погляду користувача поняття порту часто ототожнюється з яким-небудь зовнішнім пристроєм (ЦАП, АЦП, датчик, і т.д.), що підключені до цього порту.

Мови програмування нижнього рівня – машинний код, машинна мова, асемблер.

Машинний код – запис програми в вигляді команд, поданих в двійковому коді. Кожному запису команди в машинному коді взаємно однозначно відповідає команда в машинній мові або в асемблері.

Машинна мова – запис програми за допомогою восьмирічного або шістнадцятирічного подання команд. Основне достоїнство в порівнянні з машинним кодом - компактність запису і краща читаність.

Асемблер – мова програмування, в якій для запису команд використовують мнемоніки: скорочені літерні позначення назв операцій, що виконуються. Крім того, асемблером часто називають програму, що автоматично переводить асемблерний текст програми користувача в машинні коди. Більше повна назва такої програми - асемблююча програма або програма-транслятор. Асемблер - мова, жорстко пов'язана з типом мікропроцесора: у кожного мікропроцесора свій набір машинних кодів, команд і своя мова асемблера. Разом з тим, ряд мнемонік для різних мікропроцесорів має однаковий або подібний запис, що полегшує освоєння нових мікропроцесорів.

Емулятор (симулятор) – програмна модель мікропроцесора, використовувана для його вивчення й налагодження програм на персональному комп'ютері.

Роздільна адресація пам'яті і зовнішніх пристроїв – такий спосіб організації пам'яті, коли її осередки пронумеровані від нуля до максимального значення. При цьому адреси зовнішніх пристроїв також пронумеровані від нульового до максимального. Частина чисельних значень цих адрес збігається, і в асемблер вводять спеціальні команди звертання до

зовнішніх пристроїв, щоб виключити двозначність такої адресації. Основна ж маса команд асемблера не може працювати з зовнішніми пристроями і призначена для обслуговування комірок пам'яті.

Спільна адресація комірок пам'яті і зовнішніх пристроїв – такий спосіб організації пам'яті, при якому комірки пам'яті і зовнішніх пристроїв включаються в єдину наскрізну нумерацію в межах адресного простору. Спеціальних команд вводу-виводу немає, але всі команди асемблера дозволяють однаково успішно обробляти вміст як комірок пам'яті, так і портів. Інша назва такого способу адресації - побудова з відображенням адрес зовнішніх пристроїв на основну пам'ять.

Розряд – позиція для запису цифр числа в будь-якій системі числення. Використовують двійкову, восьмеричну, десяткову і шістнадцятиричну системи числення. Команди, що виконують ЕОМ, зберігаються в пам'яті, пересилаються і виконуються тільки в двійковому поданні. Кожному розряду двійкового числа відповідає провідник (лінія) шини, якою передається це число в паралельному коді.

Біт – мінімальна одиниця виміру обсягу переданої інформації. в записі двійкового числа кожен розряд відповідає одному біту і може бути заповнений або одиницею, або нулем. Молодший розряд числа називається молодшим бітом, старший розряд - старшим бітом.

Байт – одиниця виміру обсягу інформації. Двійкове число, записане за допомогою восьми розрядів (восьми бітів), утворює один байт інформації і займає один байт у пам'яті ЕОМ. За допомогою восьми двійкових розрядів можна закодувати (зашифрувати) $2^8=256$ різних комбінацій будь-яких елементів, в тому числі 256 цілих десяткових чисел (від 0 до 255 включно).

Кбайт – $2^{10} = 1024$ байт. Затвердився розмовний варіант цього терміну: «кілобайт». Мбайт – мегабайт, дорівнює 2^{20} байт, Гбайт – гігабайт, дорівнює 2^{30} байт.

Дані – інформація (числа), призначена для обробки в ЕОМ (в процесі додавання, вирахування, пересилання і т.д.).

Команда – запис в двійковій, восьмеричній, шістнадцятиричній системах числення або в скороченому буквенному вигляді, що вказує, як саме потрібно обробити дані і де ці дані зберігаються. Команда безпосередньо виконується в ЕОМ. З команд програміст складає програму.

Адреса – порядковий номер комірки пам'яті, де зберігається команда, дані (або частина довгого запису команди, даних). Адреса може бути фізичною, при наскрізній нумерації всіх осередків від нуля і до останньої, або логічною, при більш складній організації пам'яті.

Операнд – частина команди, що вказує адресу (або найменування регістра мікропроцесора), де зберігають дані, призначені для обробки за допомогою цієї команди. Операндом можуть бути також дані (число),

безпосередньо включені програмістом в запис команди для їхньої обробки. Код операції, що знаходиться в записі команди, указує, «як треба обробити», а операнди вказують, «що треба обробити».

Регістри загального призначення (РЗП) – елементи пам'яті в складі самого мікропроцесора (але не комірки пам'яті), що використовуються програмістом для короткочасного зберігання даних. Програма в них не зберігається. Крім терміна РЗП для їхнього позначення використовують ще два: «надоперативний ОЗП» (некоректний) і «робочі регістри».

АЛП – арифметико-логічний пристрій, основний вузол мікропроцесора, що безпосередньо реалізує процедури додавання, віднімання й інші операції.

Машинне слово – один або кілька байт інформації, що обробляє мікропроцесор за один раз, а не вроздріб. Розмір (розрядність) машинного слова звичайно дорівнює розрядності АЛП, розрядності РЗП або розрядності шини, за якою пересилають команди і дані.

Адресний простір – максимальна кількість комірок пам'яті (в Кбайтах, Мбайтах і т.д.), які можна пронумерувати за допомогою шини адреси, реалізованої в мікропроцесорі. Якщо шина адреси містить 16 проводів (16 розрядів), то адресний простір дорівнює 2^{16} байт, тобто 64 Кбайта.

Розрядність мікропроцесора – визначається в загальному випадку розрядністю двійкового числа, оброблюваного на основних операціях в АЛП за один раз. Як правило, розрядність мікропроцесора відповідає розрядності регістрів загального призначення і шини даних. Сучасні мікропроцесори мають розрядності, рівні 8, 16, 32, 64. Розрядність шини адреси може бути іншою, вона не визначає величину розрядності мікропроцесора, хоча звичайно більшій розрядності шини даних відповідає більший адресний простір.

Архітектура мікроЕОМ – найбільш ємне (а виходить, найменш конкретне) поняття мікропроцесорної техніки. Його повне визначення, як правило, вимагає коментарів, що пояснюють зміст. В тематичному словнику видавництва Oxford Union Press зазначено, що «архітектура - це опис обчислювальної системи на деякому загальному рівні, що включає опис користувальницьких можливостей програмування, системи команд, засобів користувальницького інтерфейсу, організація пам'яті і системи адресації, операцій вводу-виводу і керування і т.д. В контексті розробки обчислювальної системи і проектування апаратних засобів термін "архітектура" використовують для описування принципу дії, конфігурації і взаємного з'єднання основних логічних вузлів ЕОМ. Звичайно частиною, а найчастіше і основою такого опису служить докладна структурна або принципова схема конкретної машини».

Неймановська архітектура, Гарвардська архітектура – два типи архітектури мікропроцесорних засобів, що застосовують у теперішній час. Існує кілька відмітних ознак цих архітектур. Історично першої була

Неймановська архітектура, при якій програма користувача і оброблювані дані зберігалися в одному ОЗП. На цьому принципі побудований, наприклад, класичний мікропроцесор серії 18080 (K580). Гарвардська архітектура з'явилася пізніше в зв'язку зі спробами підвищити швидкодію ЕОМ за рахунок зміни її структурної схеми, а не тільки за рахунок підвищення тактової частоти. Ця архітектура має на увазі наявність двох ОЗП (і двох шин даних) - окремо для виконуваних програм і окремо для оброблюваних даних з можливістю одночасного до них звертання. Гарвардська архітектура стала основою побудови ряду мікроконтролерів, наприклад, 18051 або K1816BE51. З її застосуванням сьогодні будують найбільш продуктивні цифрові процесори обробки сигналів.

ASCII-код – стандартизована система позначень різних символів (букв і цифр клавіатури комп'ютера) для пересилання інформації: American Standard Code for Information Interchange.

ISO7 bit, ISO8 bit – семибітний і восьмибітний код, європейський стандарт кодування символів для пересилання інформації: International Organization for Standardization. В основному збігається з ASCII кодом.

IEEE754 – стандарт на запис чисел з плаваючою точкою (комою). В рамках IEEE754 запропоновано ряд форматів: одинарної точності (діапазон чисел $-10^{\pm 38}$ з 6 – 7 десятковими знаками), подвійної точності (діапазон чисел $-10^{\pm 308}$ з 16 – 17 достовірними десятковими знаками). Стандарт IEEE754 реалізований, наприклад, в мікропроцесорі 18087 (K1810BM87).

До основних параметрів МП відносяться:

- тип мікроелектронної технології, використовуваної при виготовленні кристала МП;
- кількість кристалів, що утворюють МП;
- розміри кристала, кількість елементів (транзисторів) в кристалі;
- кількість виводів корпусу МП;
- розрядність машинного слова;
- швидкодія (тактова частота, тривалість виконання основних операцій);
- ємність адресуємої пам'яті;
- тип пристрою керування операціями (схемне, мікропрограмне);
- ефективність системи команд (кількість команд, виконуваних операцій, можливі способи адресації, можливість роботи зі стеком, з бітами, з десятковими числами, числами з плаваючою точкою і т.п.);
- кількість рівнів переривань;
- можливість прямого доступу до пам'яті;
- пропускну здатність інтерфейсів вводу-виводу;
- кількість і рівні живлячих напруг;
- параметри використовуваних сигналів;
- потужність, що розсіюється мікросхемою МП.

Основи організації і принцип дії МП розглянемо на прикладі спрощеної структурної схеми, представленої на рис. 13.

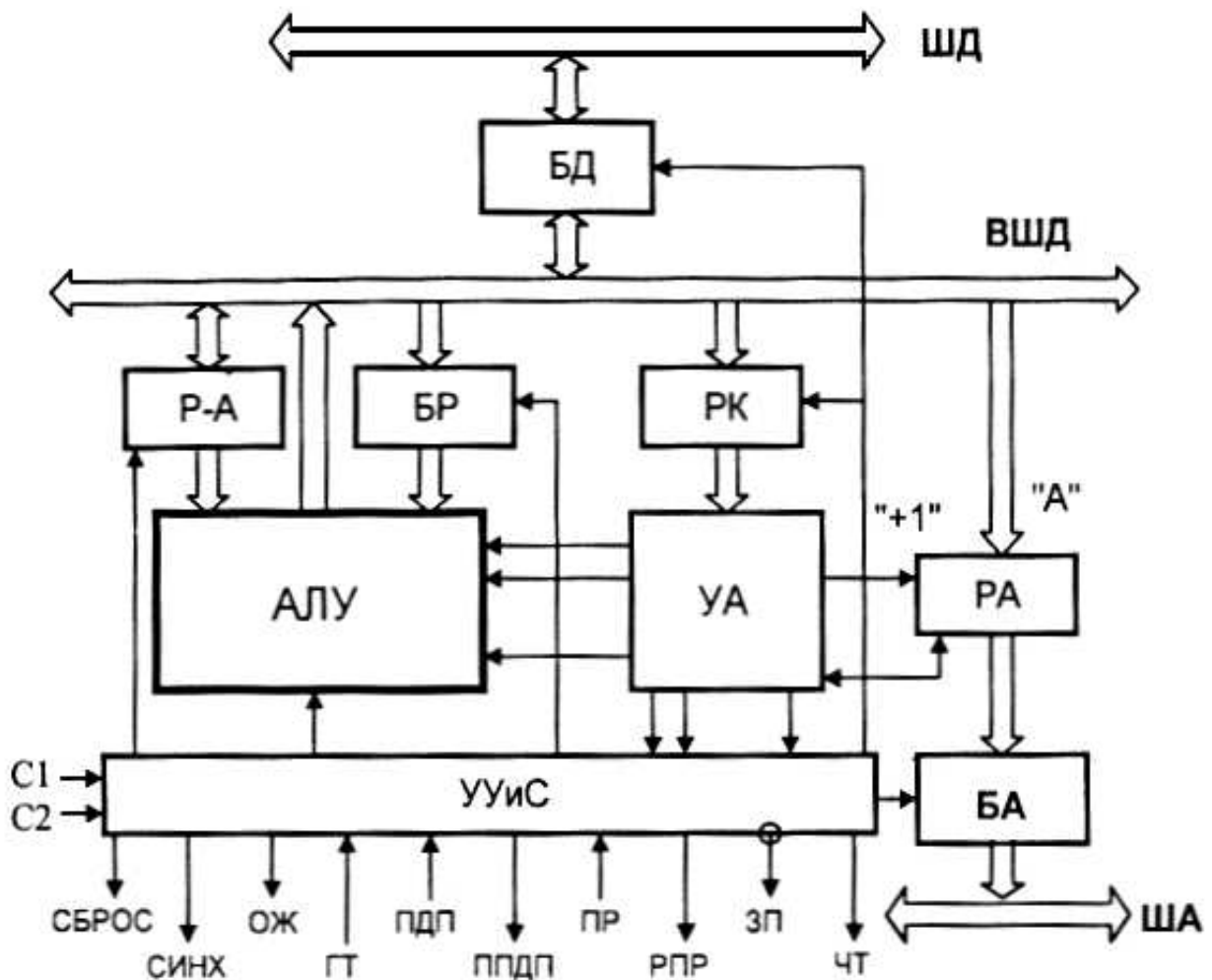


Рис.13 - Структурна схема мікропроцесора

На даній схемі показано лише ті пристрої і вузли, які необхідні для пояснення принципу дії МП і взаємодії його з іншими пристроями МП системи.

Основним пристроєм МП є арифметико-логічний пристрій (АЛП), в якому виконуються усі арифметичні і логічні операції над так званими операндами - елементами інформації (числами, логічними змінними та ін.), над якими необхідно зробити ті або інші операції. Всі інші пристрої і вузли МП стосовно АЛП є допоміжними і забезпечують підготовку й введення в АЛП операндов, указують, яку саме операцію необхідно виконати, в якому вигляді і де зберігати або куди видати результат операції.

Тому що МП конструктивно являє собою кристал, поміщений в корпус, то взаємодія МП з іншими пристроями може здійснюватися тільки через систему виводів корпусу. Всі виводи діляться на 4 групи. Першу групу утворюють виводи шини даних (ШД), що представляє собою n - розрядну ($n = 8, 16, 32, 64$) двонаправлену шину, за допомогою якої здійснюється обмін

даними між МП і іншими пристроями МП системи. Другу групу утворюють виводи шини адреси (ША), що також є n -розрядною ($n = 8, 16, 32$), але односпрямованою, за допомогою якої здійснюється адресне звернення МП до пристроїв пам'яті МП систем і до периферійного встаткування. Третю групу виводів утворить шина керування (ШК), за допомогою якої здійснюється обмін керуючими і синхросигналами, сукупність яких забезпечує керування процесом функціонування МП. Четверту групу (на схемі не показано) утворюють виводи, призначені для подачі електроживлення.

Значну роль в взаємодії МП з іншими пристроями МП системи грають буфери адреси (БА) і даних (БД), що відрізняють тим, що мають три стійких стани: два активних (прийоми інформації в МП і видача інформації з нього), при цьому на шинах можуть бути сигнали 1 або 0, а третій - пасивний (високоімпедансний), при якому буфери відключені від шин.

Для прискорення процесу обміну даними усередині МП використовується внутрішня шина даних (ВШД). Регістр команд (РК) служить для зберігання коду поточної команди керуючої програми. Регістр адреси (РА) використовується для формування й зберігання адреси наступної ($n+1$) команди.

Як керуючий автомат (КА) в найпростішому випадку може використовуватися дешифратор, що розшифровує код команди і перетворює його в набір сигналів керування операціями.

Буферні регістри БР і БР-А (регістр-акумулятор) використовують для тимчасового зберігання операндів і результату виконаної в АЛП операції.

Взаємодія всіх пристроїв і вузлів МП забезпечує пристрій керування і синхронізації (ПК і С).

Принцип дії МП розглянемо в самому загальному вигляді на прикладі виконання операцій в ньому. Виконання команди, як правило, складається з трьох основних етапів: вибірка (читання) команди з пам'яті МП системи в МП, читання операнда (операндів) з пам'яті МП системи в МП, властиво виконання операції.

Спочатку здійснюється передача вмісту РА (адреси команди) через ША в пам'ять системи; потім за зазначеній адресі здійснюється вибірка 1-го байта команди (коду операції - КОП) з пам'яті МП системи і передача його через ШД в РК; одночасно автоматично виконується інкрементування (додавання "1" до вмісту) РА, тобто формування адреси наступної команди; далі здійснюється дешифрування КОП в КА. Потім, якщо необхідно (а залежить це від виду команди), здійснюється вибірка 2-го і 3-го байтів команди (аналогічно тому, як це робилося для 1-го байта). Далі виконується читання з пам'яті МП системи операнду, що заноситься в один з буферних регістрів БР або БР-А. Потім здійснюється підключення інформаційних виходів буферних регістрів до АЛП, де й виконується операція, обумовлена КОП. Результат операції заноситься в БР-А.

Для керування процесом функціонування різних МП використовують неоднакові набори керуючих і синхросигналів. Нижче описані наведені на рис.13 основні типові сигнали, які в тім або іншому вигляді використовують в більшості процесорів:

- СКИДАННЯ - вхідний сигнал, що забезпечує скидання в 0 РА і відпрацьовування програм, починаючи з нульової комірки пам'яті;
- ГТ (готовність) - вхідний сигнал про готовність даних для введення в МП;
- ОЧ (очікування) - вихідний сигнал, що вказує про тимчасову затримку в циклі роботи МП (очікування сигналу ГТ);
- ПДП (прямий доступ до пам'яті) - запит захвата ША і ШД-вхідний сигнал запиту з зовнішнього пристрою на прямий доступ до пам'яті без участі МП;
- ППДП (підтвердження ПДП) - підтвердження захвата шин -вихідний сигнал, що підтверджує перемикання буферів ША і ШД в високоімпедансний стан і розв'язку реалізацію режиму ПДП;
- ПР (переривання) - запит переривання - вхідний сигнал від зовнішнього пристрою на переривання поточної програми і обслуговування джерела переривання;
- ДПР (дозвіл переривання) - вихідний сигнал, що дозволяє обслуговування запиту переривання;
- ЗП (запис) - вихідний сигнал дозволу запису інформації, виданої з МП, у зовнішнє відносно МП пристрій;
- ЧТ (читання) - вихідний сигнал дозволу прийому інформації зі ШД в МП.

До сигналів синхронізації МП відносять: С1 і С2 - вхідні двофазні тактові сигнали від зовнішнього генератора тактових сигналів, а також СИНХ - вихідний сигнал синхронізації, що видається на початку кожного машинного циклу.

Відпрацьовування команд в МП здійснюється відповідно до використовуваного в даному процесорі системою машинних циклів і тактів. Залежно від складності команди для її виконання в МП організується певна кількість циклів, кожен з яких містить певне число тактів. Так, наприклад, процесор може мати систему з п'яти машинних циклів: цикл M_1 – цикл вибірки команди, цикли M_2 – M_5 – цикли виконання команди. Кожен цикл триває кілька тактів, наприклад, від 3 до 5, причому такти T_1 – T_3 використовуються в кожному циклі, а T_4 і T_5 – тільки в деяких циклах.

Команди МП можуть мати різний формат. Узагальнена структура формату команди представлена на рис. 14.



Рис. 14 - Узагальнена структура формату команди

Адреса команди вказує, за якою адресою пам'яті зберігається (записана) дана команда. Код операції однозначно визначає, яку операцію необхідно виконати в АЛП процесора при відпрацьовуванні даної команди. Адресна частина команди призначена для запису адрес, що вказують, з якої конкретної комірки пам'яті необхідно взяти операнд (наприклад, число), або для запису самих операндів.

Для адресації операндів у МП використовують різні способи. З усього різноманіття застосовуваних способів укажемо тільки ті, що дають загальне уявлення про підхід до формування способів адресації. До таких способів можна віднести: пряму адресацію, безпосередню адресацію, регістрову адресацію, а також неявну адресацію.

При використанні прямої адресації в поле операнда вказується повна адреса зберігання даних в пам'яті - найбільш простий і найменш ощадливий спосіб адресації.

При безпосередній адресації вміст адресної частини команди є операндом, як правило, фіксованим (константою, кодом символу і т.п.).

При регістровій адресації операндом є вміст одного з регістрів МП, який адресується в команді, - короткі, швидко виконувані операції.

Неявна адресація використовують в тих випадках, коли КОП, зазначений в команді, однозначно визначає місце знаходження операнда в одному з регістрів або в АЛП мікропроцесора і тому спеціальна адресація стає зайвою.

Всі сучасні мікропроцесори за функціональним призначенням можна умовно розділити на наступні основні групи: універсальні, сигнальні, медійні, трансп'ютери.

Універсальні МП призначені для використання в різних обчислювальних і керуючих пристроях і системах, а саме: в персональних комп'ютерах, в мікроконтролерах, програмувальних логічних контролерах (ПЛК), в індустріальних комп'ютерах (ІК), в робочих станціях, а також в багатьох досить потужних обчислювальних системах і мережах.

Основною характеристикою універсальних МП є наявність розвинених пристроїв для ефективної реалізації операцій з плаваючою точкою над 64-розрядними і більш довгими операндами.

Універсальні МП широко і успішно застосовують у різних предметних областях: при виконанні наукових досліджень і інженерних розробок, у тому числі при автоматизованому проектуванні, в багатьох системах масового інформаційного обслуговування, в інтегрованих автоматизованих системах керування технологічними процесами і виробництвами.

Сигнальні МП призначені для обробки в реальному часі більших потоків цифрованих аналогових сигналів.

Сигнальні МП мають порівняно малу розрядність і здійснюють в основному цілочисельну обробку даних. Однак сучасні сигнальні процесори вже здатні виконувати обчислення і з плаваючою точкою над 32-...40-розрядними операндами.

До сигнальних МП висувають високі вимоги як в частині продуктивності, так і в частині забезпечення можливості інтенсивного обміну даними із зовнішніми пристроями, що досягається за рахунок використання специфічної архітектури і проблемно-орієнтованої системи команд.

Стрімке зростання мультимедійних технологій сприяло появі нового класу мікропроцесорів - так званих мультимедійних МП, які в свою чергу ділять на два підкласи: спеціалізовані мультимедійні МП і універсальні МП із мультимедійним розширенням набору команд.

Спеціалізовані мультимедійні МП застосовують там, де мультимедійні операції явно домінують над традиційними числовими, а в тих предметних областях, де переважною є числова обробка, використовують універсальні МП з мультимедійним розширенням команд.

Трансп'ютер являє собою мікропроцесор з вбудованим 4-х каналним інтерфейсом і призначений для застосування як елементна база високопродуктивних (масово-паралельних) багатопроцесорних систем обробки даних, в яких трансп'ютери поєднуються в тороїдальну матрицю процесорних елементів, в якості яких і використовують трансп'ютери. Трансп'ютери орієнтовані для вирішення особливо складних завдань великої розмірності.

ЛЕКЦІЯ 4

СИГНАЛЬНІ МІКРОПРОЦЕСОРИ

Для цифрової обробки сигналів використовують так звані сигнальні мікропроцесори. Їхніми особливостями є малорозрядна (40 розрядів й менш) обробка чисел з плаваючою точкою, переважне використання чисел з фіксованою точкою розрядності 32 і менш, а також орієнтація на нескладну обробку більших масивів даних.

Відмінною рисою завдань цифрової обробки сигналів є потоковий характер обробки більших обсягів даних в реальному режимі часу, що вимагає від технічних засобів високої продуктивності і забезпечення можливості інтенсивного обміну з зовнішніми пристроями. Відповідність даним вимогам досягається завдяки специфічній архітектурі сигнальних

процесорів та проблемно-орієнтованій системі команд.

Сигнальні процесори мають високий ступінь спеціалізації. В них широко використовують методи скорочення тривалості командного циклу, характерні і для універсальних RISC-процесорів, такі як конвеєризація на рівні окремих мікроінструкцій та інструкцій, розміщення операндов більшості команд в регістрах, використання тіньових регістрів для збереження стану обчислень при перемиканні контексту, поділ шин команд і даних (Гарвардська архітектура). В той же час для сигнальних процесорів характерним є наявність апаратного множителя, що дозволяє виконувати множення двох чисел за один командний такт. В універсальних процесорах множення звичайно реалізується за кілька тактів, як послідовність операцій зсуву і додавання. Іншою особливістю сигнальних процесорів є включення в систему команд таких операцій, як множення з нагромадженням $C := A \times B + C$ з зазначеним в команді числом виконань в циклі та з правилом зміни індексів використовуваних елементів масивів A і B), інверсія біт адреси, різноманітні бітові операції. В сигнальних процесорах реалізується апаратна підтримка програмних циклів, кільцевих буферів. Один або декілька операндів вилучаються з пам'яті в циклі виконання команди.

Реалізація однотоктного множення і команд, що використовують в якості операндів уміст комірок пам'яті, обумовлює порівняно низькі тактові частоти роботи цих процесорів. Спеціалізація не дозволяє піднімати продуктивність за рахунок швидкого виконання коротких команд типу $R, R \rightarrow R$, як це робить в універсальних процесорах. Цих команд просто немає в програмах обробки сигналів.

Сигнальні процесори різних компаній - виробників утворюють два класи, що істотно відрізняють за ціною: більш дешеві мікропроцесори з обробкою даних в форматі з фіксованою точкою і більш дорогі мікропроцесори, що апаратно підтримують операції над даними в форматі з плаваючою точкою.

Використання в сигнальній обробці даних в форматі з плаваючою точкою обумовлено декількома причинами. Для багатьох завдань, пов'язаних з виконанням інтегральних і диференціальних перетворень, особливу значимість має точність обчислень, забезпечити яку дозволяє експонентний формат подання даних. Алгоритми компресії, декомпресії, адаптивної фільтрації в цифровій обробці сигналів пов'язані з визначенням логарифмічних залежностей і досить чутливі до точності подання даних в широкому динамічному діапазоні.

Цифрова обробка сигналу - це арифметична обробка в реальному масштабі часу послідовності значень амплітуди сигналу, що визначені через рівні часові проміжки. Прикладами цифрової обробки є:

- фільтрація сигналу;
- згортка двох сигналів (змішання сигналів);
- обчислення значень кореляційної функції двох сигналів;
- посилення, обмеження або трансформація сигналу;
- пряме / зворотне Фур'є-перетворення сигналу.

Аналогова обробка сигналу, традиційно використовувана в багатьох радіотехнічних пристроях, є в багатьох випадках більш дешевим способом досягнення необхідного результату. Однак, коли потрібна висока точність обробки, мініатюрність пристрою, стабільність його характеристик в різних температурних умовах функціонування, цифрова обробка виявляється єдиним прийнятним рішенням.

Приклад аналогової фільтрації сигналу наведено на рис. 15.

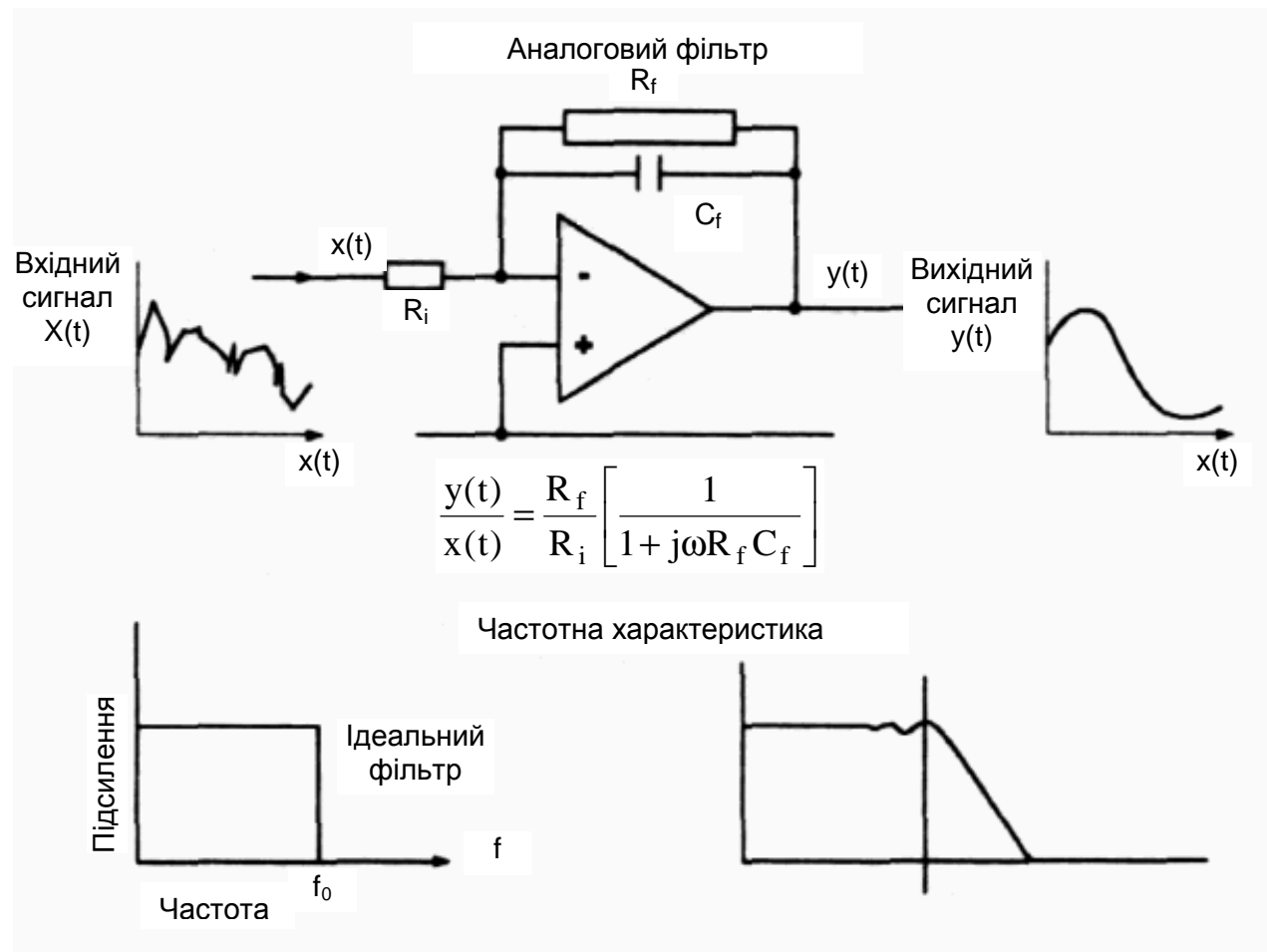


Рис. 15 - Аналогова обробка сигналу

Використовуваний в фільтрі операційний підсилювач дозволяє розширити динамічний діапазон оброблюваних сигналів. Форма амплітудно-частотної характеристики фільтра визначається значеннями величин R_f , C_f . Для аналогового фільтра складно забезпечити високе значення добротності, характеристики фільтра сильно залежать від температурного режиму. Компоненти фільтра вносять додатковий шум в результуючий сигнал. Аналогові фільтри важко перебудовувати в широкому діапазоні частот.

Аналогічні результати обробки сигналу можуть бути отримані за допомогою цифрової схеми, показаної на рис. 16.

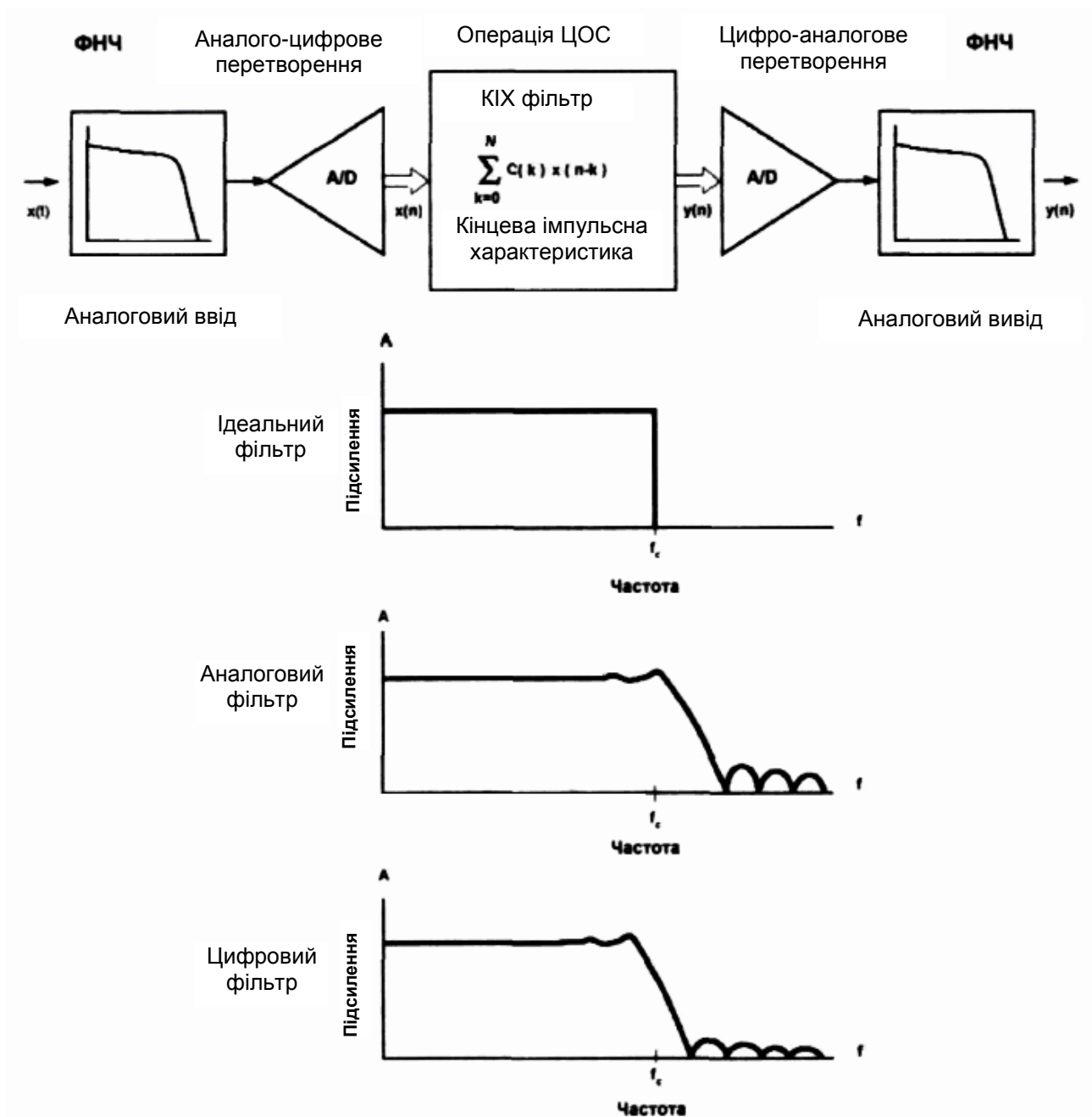


Рис. 16 - Цифрова обробка сигналу

Компонентами схеми є фільтри низької частоти (ФНЧ), що виконують попереднє і наступне видалення з частотного спектра додаткових гармонік сигналу, аналого-цифровий (АЦП) і цифро-аналоговий (ЦАП) перетворювачі сигналу і цифровий фільтр з кінцевою імпульсною характеристикою. Амплітудно-частотна характеристика фільтра визначається значеннями коефіцієнтів фільтра $C(k)$. Змінюючи кількість коефіцієнтів (довжину фільтра) і їхні значення, можна одержати фільтр з будь-якою необхідною амплітудно-частотною характеристикою.

Для ефективної реалізації алгоритмів цифрової фільтрації необхідна апаратна підтримка базових операцій: множення з нагромадженням (МАС),

модульної адресної арифметики, нормування результатів арифметичних операцій.

Іншим часто виконуваним перетворенням сигналу є перетворення Фур'є. Будь-який сигнал може бути представлений як в часовій області (сукупність графіків в координатах час - амплітуда), так і в частотній області (послідовність графіків у координатах частота - амплітуда). Залежно від складності реалізації обробки може бути обране або частотне, або часове подання сигналу.

Перетворення Фур'є дозволяє здійснювати перенос сигналу з однієї форми подання в іншу.

Якщо припустити, що реалізація $x(t)$ – періодична з періодом T_p і фундаментальною частотою $f_1 = 1/T_p$, то її можна представити рядом Фур'є

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{q=1}^{\infty} (a_q \cos 2\pi q f_1 t + b_q \sin 2\pi q f_1 t),$$

$$\begin{aligned} \text{де } a_q &= \frac{2}{T_0} \int_0^T x(t) \cos 2\pi q f_1 t dt, \quad q=0,1,2,\dots; \\ b_q &= \frac{2}{T_0} \int_0^T x(t) \sin 2\pi q f_1 t dt, \quad q=0,1,2,\dots \end{aligned}$$

Нехай реалізація $x(t)$ має кінцеву довжину $T_r = T_p$, рівну фундаментальному періоду. Припустимо також, що вона складається з парного числа N еквідистантних спостережень з інтервалом дискретності Δt , що обраний таким чином, що частота Найквіста $f_c = \frac{1}{2\Delta t}$ досить висока. Будемо вважати, що початковий момент реалізації дорівнює нулю, й позначимо перетворену послідовність у такий спосіб:

$$x_n = x(n\Delta t), \quad n=1,2, \dots, N.$$

Обчислимо тепер за всіма N значеннями реалізації кінцевий ряд Фур'є. Для будь-якої точки t приналежної інтервалу $(0, T_p)$, цей ряд має вигляд

$$x(t) = A_0 + \sum_{q=1}^{N/2} A_q \cos \frac{2\pi q t}{T_p} + \sum_{q=1}^{(N/2)-1} B_q \sin \frac{2\pi q t}{T_p}.$$

в точках $t = n\Delta t$ ($n=1,2,\dots,N$), де $T_p = N\Delta t$, одержимо

$$x_n = x(n\Delta t) = A_0 + \sum_{q=1}^{N/2} A_q \cos \frac{2\pi q t}{T_p} + \sum_{q=1}^{(N/2)-1} B_q \sin \frac{2\pi q t}{T_p}.$$

Коефіцієнти A_q і B_q визначаються виразами

$$\begin{aligned}A_0 &= \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n = \bar{x} = 0; \\A_q &= \frac{2}{N} \sum_{n=1}^N x_n \cos \frac{2\pi qn}{N}, \quad q=1,2, \dots, \frac{N}{2}-1 \\A_{N/2} &= \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n \cos n\pi, \\B_q &= \frac{2}{N} \sum_{n=1}^N x_n \sin \frac{2\pi qn}{N}, \quad q=1,2, \dots, \frac{N}{2}-1 \dots.\end{aligned}$$

Існує велика розмаїтість реалізацій дискретного перетворення Фур'є. В ряді алгоритмів використовують прийоми, що дозволяють скоротити обсяг необхідних обчислень. Ці алгоритми відомі під загальною назвою "швидке перетворення Фур'є".

У більшості реальних додатків розглянуті базові алгоритми цифрової обробки сигналів повинні виконуватися в режимі реального часу, що висуває підвищені вимоги до продуктивності реалізуючого їх процесора. Апаратна підтримка базових операцій алгоритмів цифрової обробки сигналів є характерною рисою сигнальних процесорів.

Фірма Analog Devices є визнаним світовим лідером у виробництві широкого спектра швидкодіючих високоточних перетворювачів сигналів (в тому числі АЦП і ЦАП), а також мікросхем для цифрової обробки даних. В 1999 році фірма Analog Devices випустила перший мікроконтролер (ADuC812), що сполучає можливості високоточного вводу/виводу, попередньої цифрової обробки даних і організації мереж збору інформації від датчиків. В 2002 році фірма анонсувала п'ять нових мікроконтролерів ADu831 /832/836/841 /842, а в 2003 році ще три – ADu844/845/846.

Приведемо загальні відомості про мікроконтролер ADu812.

Аналоговий ввід/вивід:

- 8-канальний прецизійний 12-бітний АЦП;
- вбудоване термостабільне джерело опорної напруги;
- висока швидкість вибірок 200Кб/сек;
- два 12-бітних ЦАП (перетворювачі код-напруга), внутрішній температурний сенсор.

Пам'ять:

- 8 Кбайт FLASH пам'яті програм;
- 640 байт FLASH пам'яті даних;
- внутрішнє джерело програмування типу «зарядовий насос» (зовнішнє джерело не потрібно);
- 256 байт внутрішньої пам'яті даних;
- 16 Мбайт адресного простору зовнішньої пам'яті даних.

Процесор (8051 - сумісне ядро):

- 12 МГц номінальна частота (16 МГц - максимальна) ;
- три 16-бітних лічильника-таймера;
- 32 програмувальні лінії вводу-виводу;
- порт з підвищеною навантажувальною здатністю - Порт 3;
- 9 джерел переривань, 2 рівні пріоритету.

Живлення:

- допускає напругу живлення 3 В або 5 В;
- режими: нормальний, холостий і черговий.

Вбудована периферія:

- послідовний порт UART;
- 2-провідний (I²C) і SPI;
- сторожовий таймер (WDT);
- монітор джерела живлення.

Основні області застосування:

- інтелектуальні сенсори (відповідно до IEEE 1451.2);
- батарейні системи (портативні РС, інструмент, монітори) ;
- системи спостереження;
- системи збору інформації, комунікаційні системи;

ADuC812 - інтегральна 12-бітна система збору інформації, що включає в себе прецизійний багатоканальний АЦП з самокалібруванням, два 12-бітних ЦАП і програмувальне 8-бітне мікропроцесорне ядро (сумісне з мікроконтролером 8051) (MCU). MCU підтримує внутрішні 8Кбайт FLASH ЕРПЗП програм, 640 байт ЕРПЗП пам'яті даних і 256 байт статичної пам'яті даних з довільною вибіркою (RAM).

MCU підтримує наступні додаткові функції: сторожовий таймер, монітор живлення і канал прямого доступу для АЦП. Для мультипроцесорного обміну й розширення вводу-виводу (в/в) є 32 програмувальні лінії вводу/виводу і послідовні інтерфейси I²C, SPI і стандартний UART.

Для гнучкого керування в застосуванні з низьким споживанням в MCU і аналоговій частині передбачено 3 режими роботи: нормальний, холостий і черговий. Система ADuC812 допускає роботу з напругою живлення 3 В і 5 В в індустріальному діапазоні температур (– 45 С°... + 85С°) і конструктивно виконана в 52-вивідному пластмасовому корпусі (тип PQF).

Функціональну схему мікроконтролера представлено на рис.17.

Частота кварцового резонатора (MCL-CIN) становить 16 МГц. Вихідна напруга V_{out} ПАП (ВАС) щодо нульового потенціалу (AGND) живлення аналогової частини знімається при навантаженні R_l=10 Ком і C₁=100 пф. Живлення аналогової частини мікроконтролера AV_{dd} становить +3В або +5В +/-10%, величина опорної вбудованої напруги ДОН V_{ref}=2.5В. Скорочення LSB (Least Significant Bit) означає молодший біт.

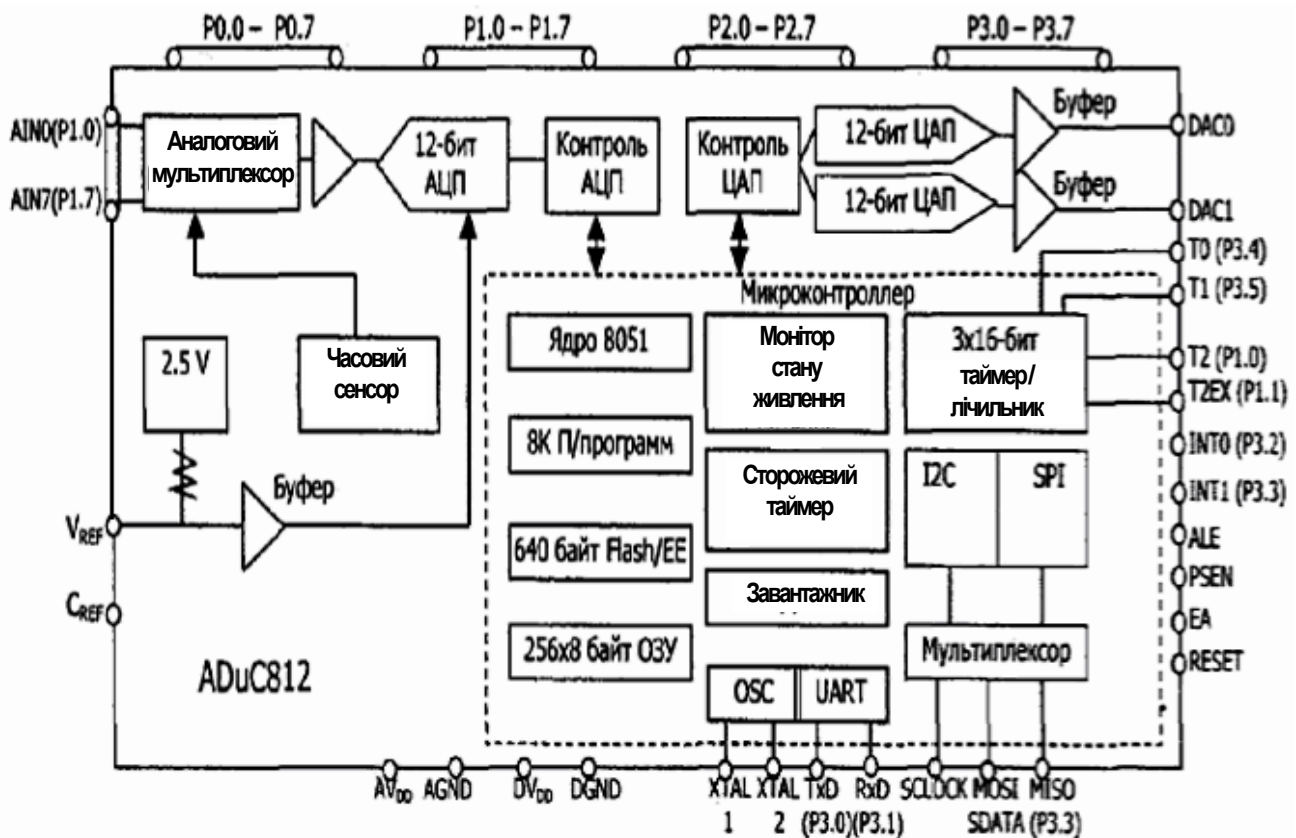


Рис. 17 - Функціональна схема мікроконтролера ADuC812

В листопаді 2003 року фірмою Analog Devices презентовані дві багатофункціональні ІМС з цифровим виходом - ADE7753 і ADE7758, призначені для виміру активної, реактивної і повної потужностей і електроенергії в складі однофазних і трифазних лічильників відповідно, крім того, в ІМС забезпечується вимір середньоквадратичних значень і зчитування форми напруг мережі і струмів навантаження. Для ІМС можуть використовуватися як датчик струму трансформатор, що диференціює, без магнітного сердечника (котушка Роговського), а також шунт (для ADE7753) або трансформатор струму, навантажений на резистор (для ADE7753 і ADE7758). Програмне керування і зчитування вихідних даних в цифровій формі здійснюється через послідовний інтерфейс ІМС. Всі ланцюги мікросхем, крім вхідних, а також джерела опорної напруги, генератора тактових імпульсів і температурного датчика, є цифровими. Використання цифрових методів (зокрема, для виконання обчислювальних операцій) забезпечує високу точність обробки сигналів і є характерною рисою ІМС фірми Analog Devices, призначених для лічильників електроенергії.

На рис. 18 наведено структурну схему ІМС ADE7753. ІМС має два диференціальних входи: перший, з виводами V1P і V1N, - для підключення датчика струму; другий, з виводами V2P і V2N, - для підключення датчика напруги. ІМС ADE7753 містить кілька пристроїв (іменованих нижче каналами) для виміру і обчислення даних контрольованого ланцюга навантаження.

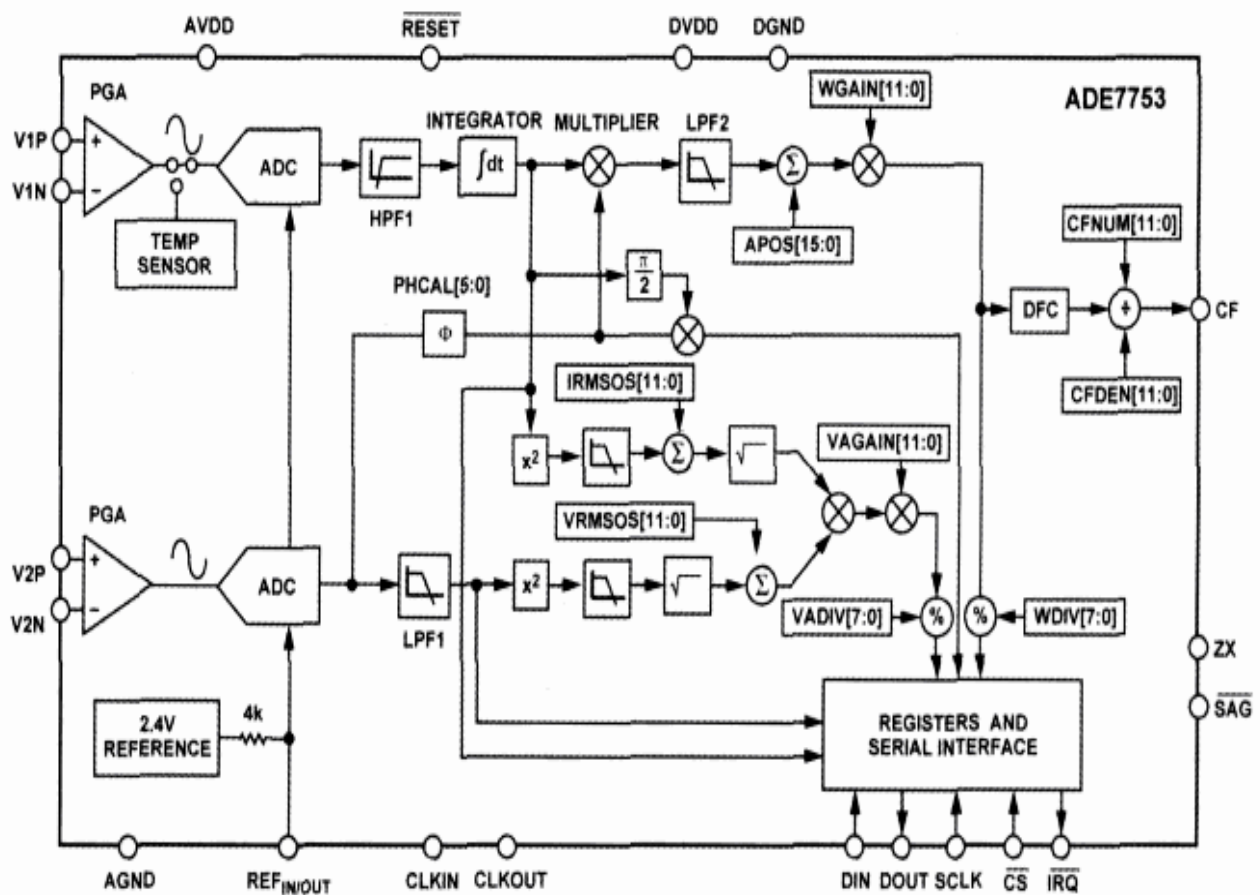


Рис. 18 - Структурна схема ADE7753

Вихідні дані зчитуються через блок регістрів і послідовний SPI інтерфейс (CS, SCLK, DIN, DOUT) - "Registers and Series Interface".

Канал виміру струму (перший канал) містить: вхідний диференціальний підсилювач з програмованим коефіцієнтом підсилення (PGA), підключений до виводів V1P і V1N; сігма-дельта АЦП (ADC); ФВЧ (HPF1); інтегратор ($\int dt$), що забезпечує інтегрування сигналу трансформатора, що диференціює, - датчика струму. Рівень вхідного диференціального сигналу встановлюється до $\pm 0,5$ В. При цьому, залежно від програмувального зсуву на вході АЦП, можливі три діапазони вхідних напруг $\pm 0,125$, $\pm 0,25$ і $\pm 0,5$ В - при програмованих коефіцієнтах підсилення 1, 2, 4, 8 і 16.

Припустима синфазна перешкода приймає значення до $\pm 0,5$ В.

Залежно від типу використовуваного датчика струму, інтегратор може бути включений або виключений. ФВЧ служить для придушення постійної складової (дрейфу нуля та ін.), що надходить з виходу підсилювача, і виключає, тим самим, появу постійної складової в сигналі, за яким обчислюється потужність.

Сігма-дельта АЦП містить сігма-дельта модулятор 2-го порядку і перетворюючий цифровий фільтр. Модулятор працює з частотою передискретизації $f_{clk} / 4 = 900$ кГц при $f_{clk} = 3,58$ МГц (діапазон можливих значень

$f_{\text{clk}} = 1...4$ МГц). Фільтр перетворює однорозрядний сигнал сігма-дельта модулятора в 24-розрядну послідовність цифрових даних в додатковому коді з однієї з чотирьох програмувальних частот зчитування $f_{\text{clk}} / (2^7...2^{10}) \approx 27,9, 14,7$ або $3,5$ кГц. Діапазон частот перетвореного аналогового сигналу лежить в межах від 40 Гц до 2 кГц. При цьому частота зрізу зовнішнього "антиалайзингового" РС-фільтра 1-го порядку (перед входом ІМС) повинна бути $F_{-3\text{дБ}} \approx 10$ кГц. Зазначений фільтр виключає утворення перешкод комбінаційних частот в смузі частот перетвореного сигналу.

Цифрові дані з виходу каналу виміру струму, після інтегратора, надходять на канали обчислення активної і реактивної потужностей, обчислення середньоквадратичних значень струму й на регістр зчитування його миттєвих значень.

Канал виміру напруги (другий канал) містить: вхідний диференціальний підсилювач, підключена до виводів V2P і V2N; сігма-дельта АЦП; програмувальний пристрій тимчасової затримки (PHCAL [5:0]), призначений для компенсації фазової погрішності між першим і другим каналами, внесеної ФВЧ в першому каналі. Підсилювач має один діапазон вхідних напруг $\pm 0,5$ В, але, як і підсилювач першого каналу, - з програмованими коефіцієнтами підсилення 1, 2,4, 8 і 16. Припустима синфазна перешкода - до $\pm 0,5$ В. АЦП каналу аналогічний розглянутому вище, але відрізняється меншою розрядністю вихідних даних, рівної 16 біт.

Дані з виходу каналу виміри напруги надходять на канали обчислення активної і реактивної потужностей і, через ФНЧ (LPF1) з $F_{-3\text{дБ}} \approx 140$ Гц, – на канал обчислення середньоквадратичних значень і регістр зчитування миттєвих значень вимірюваної напруги.

Канал обчислення активної потужності містить: перемножуючий пристрій, підключений обома входами до виходів каналів виміру струму і напруги; ФНЧ (LPF2) з частотою зрізу $F_{-3\text{дБ}} \approx 8,9$ Гц; ланцюг корекції "нуля" ("APOS [15:0]"); ланцюг корекції посилення ("WGAIN" [11:0]). В перемножуючому пристрої утвориться сигнал, пропорційний миттєвій активній потужності і утримуючий складові середньої активної (або, просто, активної) потужності й змінної складової подвоєної частоти (в загальному випадку, що становлять комбінаційні частоти, якщо вимірювані струм і напруга містять гармоніки). В ФНЧ змінні складові придушуються, і на його виході - шуканий сигнал активної потужності. Ланцюги корекції забезпечують підстроювання каналу з високою точністю, обумовленою їхньою високою розрізняючою спроможністю - 16 і 12 розрядів відповідно.

Дані з виходу ланцюга корекції "нуля" надходять на регістр активної потужності, а з виходу ланцюга корекції посилення - на накопичувальний (інтегруючий) регістр активної енергії.

Канал обчислення реактивної потужності містить: фазообертач " $\pi/2$ ", підключений до виходу каналу виміру струму і який забезпечує обчислення реактивної потужності; перемножуючий пристрій, на виході якого – дані мит-

тєвої реактивної потужності. ФНЧ і ланцюги корекції "нуля" й посилення в каналі відсутні. З виходу перемножуючого пристрою дані миттєвої реактивної потужності надходять на накопичувальний регістр реактивної енергії.

Розглянемо канали обчислення середньоквадратичних значень струму і напруги. Кожний з двох каналів містить: ланцюг зведення в квадрат (" x^2 " на рис.18); ФНЧ; ланцюг добування кореня квадратного (" $\sqrt{}$ "); ланцюг корекції "нуля" ("IRMSOS [1 1:0]" – в першому каналі, "VRMSOS [11:0]" - в другому каналі). Ланцюг корекції в першому каналі включений після ФНЧ і призначений для компенсації складової, обумовленої шумами каналу виміру струму. Ланцюг корекції в другому каналі включений після ланцюга " $\sqrt{}$ " і призначений для компенсації як складової шумів, так і постійної складової, що може бути в сигналі (ФВЧ у каналі виміру напруги відсутній).

Крім того, дані обох каналів, нарівні з іншими вихідними даними ІМС, надходять також на входи каналу обчислення повної потужності.

Канал обчислення повної потужності, як і канали обчислення активної і реактивної потужностей, містить перемножуючий пристрій двох сигналів - напруги і струму. Але, в цьому випадку, сигнали пропорційні середньоквадратичним значенням напруги і струму і надходять з виходів однойменних каналів обчислення. На виході каналу обчислення повної потужності фільтр не потрібен (фільтри, що придушують змінні складові, перебувають в каналах обчислення середньоквадратичних значень струму і напруги). В каналі, після перемножуючого пристрою, включений ланцюг корекції посилення "VAGAIN [11:0]".

В ІМС ADE7753 є три канали обчислення електроенергії – активної, реактивної і повної. В складі каналу – накопичувальний (інтегруючий) 49-розрядний регістр і програмувальний 8-розрядний подільник вхідних даних. Інтегрування в регістрі носить циклічний характер, подібно до інтегрування в механічних індикаторах лічильників електроенергії з ІМС ADE7751/ 2/5/7 і ADE7760/1. Цикл інтегрування при обчисленні, наприклад, повної енергії становить близько 12,5 хвилин при тактовій частоті $f_{clk} / 4 = 900$ кГц (при $f_{clk} = 3,58$ МГц). Подільник даних на вході каналу дозволяє в 2^7 разів "загрубити шкалу" і тим самим збільшити тривалість циклу інтегрування. При менших значеннях споживаної електроенергії і менших значеннях тактової частоти (в межах 1...4 МГц) тривалість циклу буде більше. Дані кількості електроенергії, що обчислюються, надходять на відповідні регістри і далі на вихід ІМС. Наступна обробка вихідних даних може бути зроблена в мікроконтролері, що підключений до виходу ІМС.

Миттєві значення струму і напруги надходять з виходів каналів виміру на відповідні регістри в блоці регістрів. Зчитування здійснюється з частотою, що дорівнює одному з чотирьох програмувальних значень 27,9, 14,7 і 3,5 кГц.

В ІМС, крім виводу цифрових даних, здійснюється перетворення даних активної потужності в частоту проходження ЧМІ імпульсів "CF". Канал містить перетворювач DFC (рис. 18) і два ланцюги "CFNUM [11:0]" і

"[CFDEN [11:0]]". Максимальне значення частоти $f_{CF} = 23$ кГц. Сигнал CF виведений на вивід "CF" і призначений для калібрування ІМС, але може бути використаний для передачі даних.

В ІМС здійснюється формування сигналів, що попереджають про порушення в контрольованій мережі. Це сигнали: SAG - про зниження напруги мережі нижче певного програмувального значення; PKV і PKI - про перевищення напругою мережі і струмом навантаження також певних програмованих значень. Сигнали мають логічний рівень "0" і заносять в якості "прапора" в регістр стану в блоці регістрів. Крім того, сигнал SAG виведений на однойменний вивід ІМС.

В ІМС формується сигнал ZX, який представляє собою послідовність прямокутних імпульсів (типу "меандр") з логічними рівнями "0" і "1", фронти яких відповідають точкам, в яких сигнал з виходу каналу виміру напруги, з виходу його фільтра LPF1, перетинається з рівнем "нуля" (Zero-Crossing Detection). Сигнал ZX має тимчасову затримку, внесену LPF1, і використовують для допоміжних цілей (синхронізації та ін.) і надходить також на вивід "ZX" (рис.18).

Температурний датчик підключають до входу АЦП першого каналу. Підключення – короткочасне і не впливає на основні виміри. Точність виміру температури $\pm 3^\circ\text{C}$. Дані надходять на регістр виміру температури в блоці регістрів.

ІМС містить власне джерело опорної напруги 2,4 В, але до виводу "REF_{IN/OUT}" може бути підключене зовнішнє джерело з низьким вихідним опором. При його підключенні внутрішнє джерело блокується завдяки резистору 4 кОм, включеному між його виходом і виводом "REF_{IN/OUT}". Крім того, з зазначеного виводу можна знімати напругу внутрішнього джерела.

Генератор, призначений для формування тактових імпульсів, перебуває в складі ІМС, але його кварцовий резонатор, наприклад, на частоту 3,58 МГц підключається ззовні. Передбачено підключення зовнішнього генератора (до виводу "CLKIN").

Мікросхема ADE7753, як і інші ІМС для лічильників електроенергії, містить ланцюг тригерного типу, що керує живленням ІМС (Power Supply Monitor), не показану на рис.18. Вихід ІМС стає неактивним, якщо напруга живлення знижується до 4 В ($\pm 5\%$), а логічний рівень на виводі "SAG" стає рівним "0". Зазначений ланцюг має властивості гістерезису і фільтрації, в зв'язку з чим живлення є стійким при впливі на нього шумової перешкоди. Ланцюг забезпечує коректний режим ввімкнення/вимикання живлення ІМС.

На рис. 19 наведено структурну схему мікросхеми ADE7758. ІМС ADE7758 є трифазним варіантом ADE7753, що може використовуватися в лічильниках для трьох- і чотирьохпровідних трифазних систем.

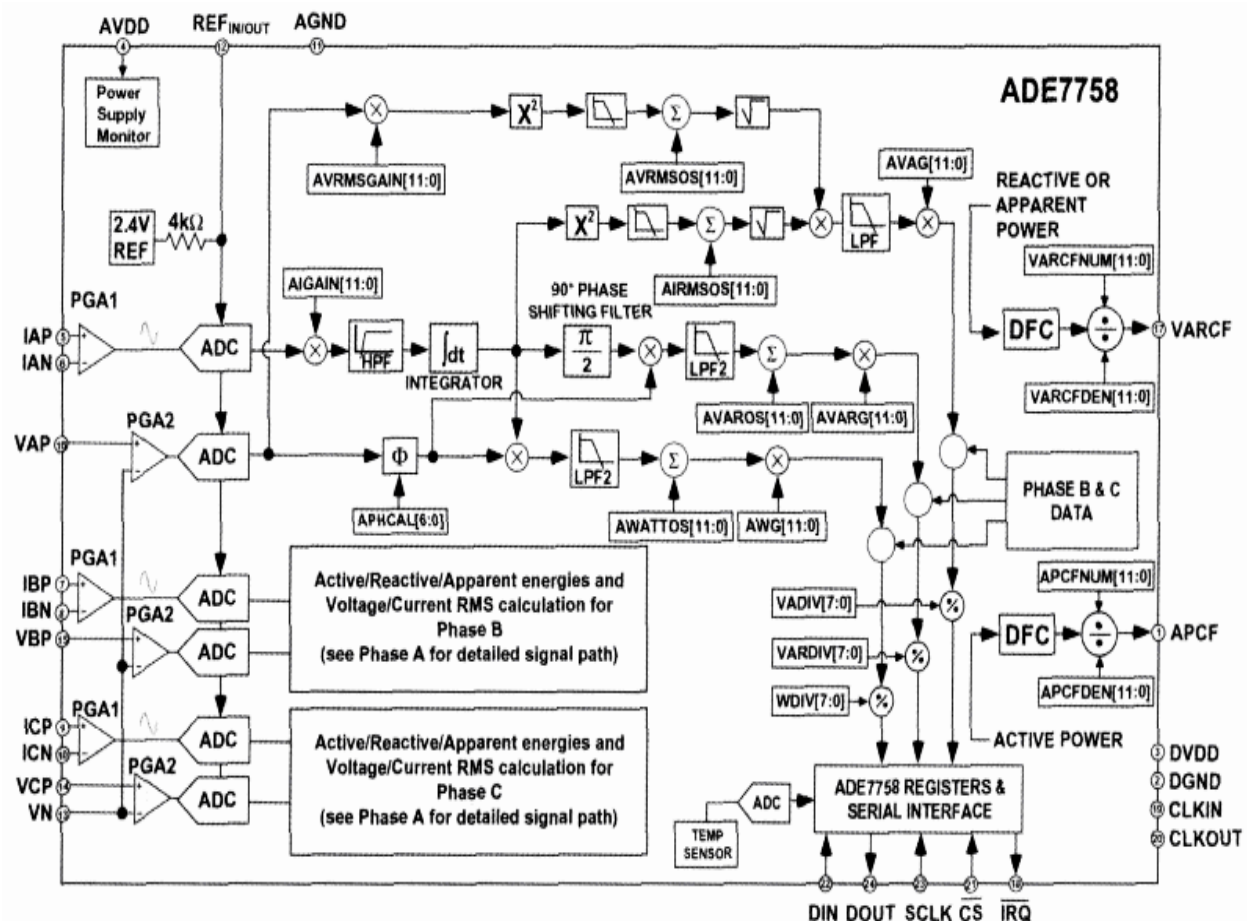


Рис. 19 - Структурна схема ADE7758

3 ІМС ADE7758 можна використовувати датчики струму трансформаторного типу (диференціюючі трансформатори і трансформатори струму), шунти використовувати не можна. Канали виміру і обчислення ІМС ADE7758, в основному, аналогічні тим, що використовують в ADE7753, але є деякі відмінності, описані нижче.

Програмовані значення коефіцієнтів підсилення входних підсилювачів в каналах виміру струму і напруги дорівнюють 1, 2 і 4 (замість 1, 2, 4, 8 і 16 для ІМС ADE7753). В каналі виміру струму, між АЦП і ФВЧ, і в каналі обчислення середньоквадратичних значень напруги, на його вході, включені програмувальні регулятори посилення "AIGAIN [11:0]" і "AVRMSGAIN [11:0]". В тім же каналі обчислення середньоквадратичних значень напруги коректор нуля "AVRMSOS [11:0]" включений, як і в каналі обчислення середньоквадратичних значень струму, між ФНЧ і ланцюгом "V". В каналі обчислення реактивної потужності після перемножника включені ФНЧ (LPF2) і коректори нуля "AVAROS [11:0]", посилення "AVARG [11:0]" (аналогічно LPF2, "AWATTOS [11:0]" і "AWG [11:0]" в каналі обчислення активної потужності) і, крім того, "VARDIV [7:0]" (на вході "ADE7758 Registers & Serial Interface"). Відповідно, на вихід ІМС, на відміну від ADE7753, надходять дані реактивної потужності. В каналах обчислення

активної, реактивної і сповненої енергії використовують 41-розрядний накопичувальний регістр. Цикл інтегрування - трохи більше 1 с. Уведено другий пристрій з імпульсами CF. Перший пристрій, з виходом "APCF", призначений, як і в ADE7753, для формування CF-сигналу активної потужності, а другий, додатковий, з виходом "VARCF", - для формування CF-сигналів реактивної/повної потужності. Перед пристроєм з виходом "APCF" виконується підсумовування сигналів активної потужності трьох фаз, а перед пристроєм з виходом "VARCF" - сигналів реактивної і повної потужності. Сумарні сигнали (трьох фаз) реактивної і повної потужності комутуються, і через вивід "VARCF" надходить один з сигналів "CF" (залежно від вибору).

Слід зазначити, що ІМС відповідають вимогам міжнародних (ІЕС), міждержавних (ДЕРЖСТАНДАРТ) і національних (ДСТУ) стандартів. Відзначимо відповідність ІЕС 60687 і ДЕРЖСТАНДАРТ 30206-94 - для електронних лічильників активної енергії класів 0,2 S і 0,5 S, ІЕС 61036, ДЕРЖСТАНДАРТ 30207-94 і ДСТУ ІЕС 61036-2001 - класів 1,0 і 2,0, ІЕС 61268, ДЕРЖСТАНДАРТ 26035-83 і ДСТУ ІЕС 61268-2001 - для електронних лічильників реактивної енергії класів 2,0 і 3,0, ІЕС 60521, ДЕРЖСТАНДАРТ 6570-96 і ДСТУ ІЕС 60521-2001 - для індукційних лічильників активної енергії.

В нових ІМС ADE7760 і ADE7761 призначених для однофазних лічильників електроенергії, в яких, як і в ADE7751, забезпечується захист від порушників, що намагаються "обійти" лічильник. Обидві мікросхеми передбачають вимір струмів в фазному і нейтральному проводах, а в ADE7761, крім того, є нововведення: забезпечується нормальна робота лічильника при порушенні цілісності нейтрального проводу.

ЛЕКЦІЯ 5

МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ ЛІЧИЛЬНИК ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Лічильник АЛЬФА призначений для обліку активної і реактивної енергії в ланцюгах змінного струму, а також для використання в складі автоматизованих систем контролю й обліку електроенергії (АСКОЕ) для передачі вимірюваних параметрів на диспетчерський пункт контролю, обліку й розподілу електричної енергії.

Принцип виміру полягає в тому, що виконується аналого-цифрове перетворення величин напруги і струму з наступним обчисленням енергій і потужностей. Структурну схему лічильника АЛЬФА подано на рис. 20.

Лічильник АЛЬФА складається з вимірювальних датчиків напруги і струму, основної електронної плати з мікропроцесорною схемою виміру і швидкодіючого мікроконтролера. Вимірювані величини та інші необхідні дані відображаються на дисплеї лічильника, виконаного на рідких кристалах.

Вимір струму і напруги силових ланцюгів здійснюється за допомогою високолінійних трансформаторів струму поліпшеної конструкції та резистивних схем подільника напруги.

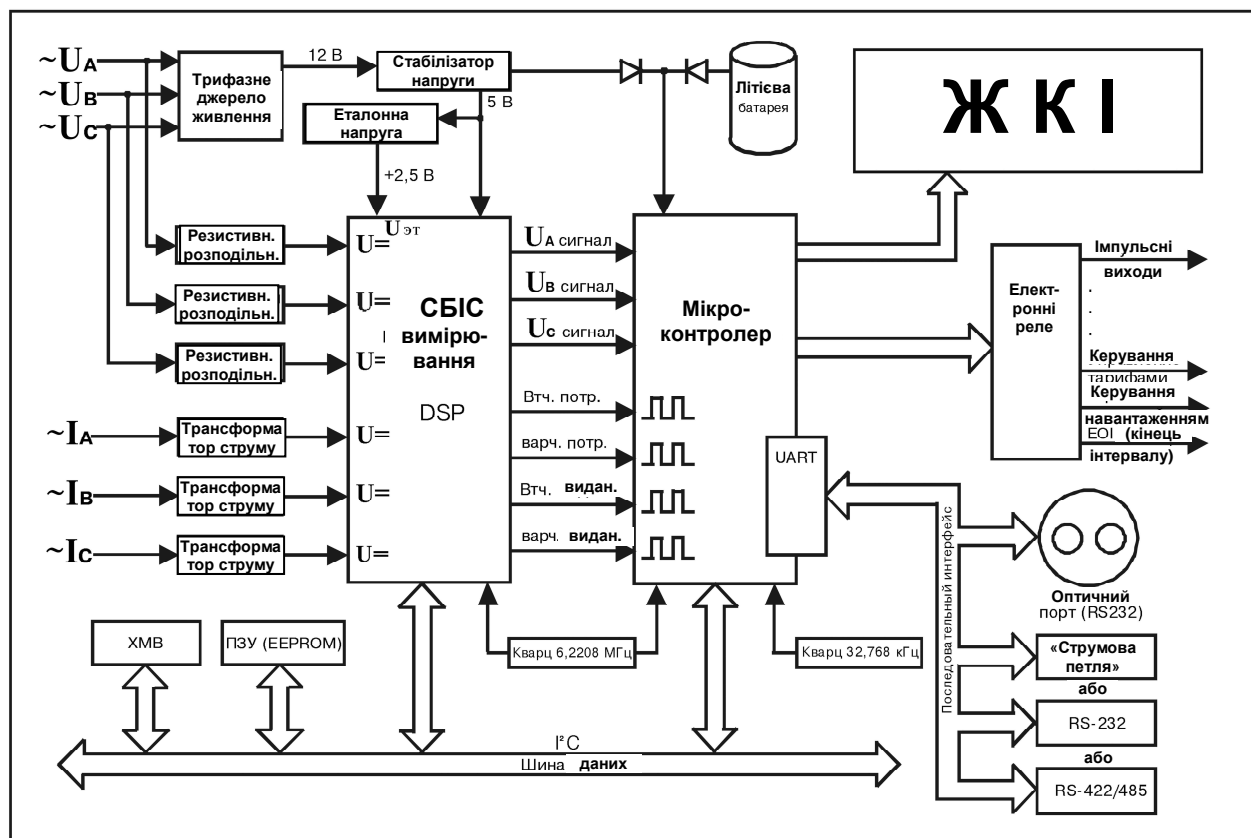


Рис. 20 - Структурна схема лічильника АЛЬФА

Активна потужність обчислюється шляхом множення обмірюваних цифрових значень напруг і струмів за допомогою вимірювальної надвеликої інтегральної схеми (НВІС).

В лічильнику АЛЬФА використовується імпульсне джерело живлення, що дозволяє забезпечити широкий діапазон робочої напруги від 70 до 440 В.

Фазні напруги подають безпосередньо на основну плату лічильника через резистивні подільники, використовувані для узгодження рівнів входних сигналів з вимірювальною НВІС. Всі резистори - високоточні, металоплівкові з мінімальним температурним коефіцієнтом.

Первинний струм вимірюється за допомогою трансформаторів струму, спеціально розроблених відповідно до вимог до лічильника АЛЬФА. Трансформатори струму мають незначну лінійну похибку і жорсткі вимоги до величини зсуву за фазою.

Два різних значення навантажувального опору використовують в вихідному ланцюзі струму на основній електронній платі: менше значення

опору встановлено для лічильників прямого включення і більше значення опору використовують для лічильників трансформаторного включення.

Лічильник АЛЬФА - універсальний лічильник з однаковою технологією виготовлення (і з однаковою точністю) для будь-якого застосування: трансформаторного або прямого включення.

Лічильник АЛЬФА трансформаторного включення працює в діапазоні струмів:

- $I_{\text{ном}} = 1\text{A}$ - від 0.5 мА до 24 А,
- $I_{\text{ном}} = 5\text{A}$ - від 2.5 мА до 24 А.

Лічильник АЛЬФА прямого включення працює в діапазоні струмів:

- $I_{\text{ном}} = 100\text{A}$ - від 20 мА до 150 А.

Мікроконтролер (НВІС), спеціально розроблений для лічильника АЛЬФА, веде весь процес виміру і обробки даних в цифровій формі, що дозволяє зберігати задану точність виміру в всьому діапазоні робочих температур від -40 до +60 градусів Цельсія при максимальному і мініальному навантаженнях. Мікропроцесорне виконання лічильника АЛЬФА робить його програмованим, що дозволяє використати лічильник з широким набором різноманітних функцій.

Програмування лічильників АЛЬФА здійснюється програмним пакетом EMFPLUS 2.30 (504MD), що поставляють на вимогу замовника. Зчитування показань з лічильника АЛЬФА забезпечується програмами EMFPLUS 2.30 (504MD), Альфамет, ALFALITE, ALFAPlus та ін.

НВІС виміру містить програмований цифровий сигнальний процесор з трьома вбудованими аналого-цифровими перетворювачами (АЦП). Вхідні сигнали напруги обробляють одним АЦП, а вхідні сигнали струму - другим АЦП. Третій АЦП використовується для вибірки вхідного сигналу нуля напруги і струму. Вимір нуля напруги і струму збільшують точність вимірів при малих сигналах.

Імпульси, кількість яких пропорційна вимірюваній енергії, з частотних виходів НВІС надходять на високопродуктивний мікроконтролер. Мікроконтролер здійснює функції контролю, передачі, прийому і відображення даних в лічильнику АЛЬФА.

Для рахунку часу календаря використовують кварцовий генератор. Час в лічильнику може автоматично корегуватися під час зчитування інформації за допомогою комп'ютера.

Під час перерв в подачі живлення всі ключові дані лічильника і дані про його конфігурації зберігаються в неруйнівній пам'яті НЗП(EEPROM) мікроконтролера. Дані багатотарифного режиму зберігаються в ОЗП мікроконтролера і ОЗП додаткової плати А+ доти, поки на лічильник надходить живлення. В період відключення основного живлення літєва батарея (якщо вона передбачена модифікацією лічильника) забезпечує живлення генератора імпульсів 32768 Гц, що підтримує роботу внутрішнього календаря для збереження правильного рахунку часу. Паралельно батареї через діод, що блокує, включений суперконденсатор. Спочатку енергія при перервах в подачі живлення надходить від суперконденсатора, що має

достатню ємність для підтримки роботи пам'яті і календаря протягом декількох годин. Після розрядки конденсатора батарея забезпечує подачу живлення для зберігання даних протягом тривалого строку до 2 - 3 років залежно від температури навколишнього середовища.

Лічильник АЛЬФА складається з трьох основних блоків: корпусу, електронного модуля і шасі.

Корпус лічильника АЛЬФА відрізняється за своїм зовнішнім виглядом від інших лічильників. Стабілізований ультрафіолетом сірий полікарбонатний корпус забезпечує захист від старіння, а також від ударів і механічних пошкоджень. Прозоре віконце вварене за допомогою ультразвуку в лицьову поверхню кришки. Віконце покрите твердим і стійким до зношування покриттям. Крізь віконце чітко помітні дані вимірів на дисплеї лічильника. Той самий корпус підходить до всіх типів лічильників АЛЬФА, що скорочує кількість комплектуючих деталей, спрощує збирання і наступну експлуатацію лічильників різних типів.

Модуль шасі включає основу, датчики струму, шини струму і напруги, сполучні кабелі ланцюгів струму й напруги з основною електронною платою. Шасі лічильника складається з високоміцної литої підстави, виготовленої з полікарбонатного пластику. До шасі кріпиться клемна колодка для підключення до силових ланцюгів струму і напруги. Для лічильників прямого підключення на верхній частині клемника ставляться перемички, що з'єднують відповідні фази струму і напруги. На відміну від інших лічильників в лічильнику АЛЬФА реалізовано велику відстань (кілька сантиметрів) між струмовводами фаз А, В і С, що дозволяє підвищити надійність і точність роботи лічильника при більших навантаженнях. До клем шасі підключені також сполучні кабелі для зв'язку лічильника з різними пристроями збору даних за цифрових та імпульсних каналах. Залежно від установки лічильників АЛЬФА в трьох- або чотирьохпровідних лініях виготовляють двох- і трьохелементні лічильники АЛЬФА.

Електронний блок містить:

- основну електронну плату, що здійснює функції виміру і реєстрації;
- дисплей лічильника на рідких кристалах для відображення вимірюваних величин та інших необхідних даних;
- елементи оптичного порту;
- зйомний щиток (шильдик) з позначенням типу лічильника;
- перемикачі режимів роботи дисплея.

В корпус лічильника вбудовують додаткові електронні плати, які значно розширюють функціональні можливості лічильника. Додаткові плати підключають до основної плати лічильника і одна за другою, за допомогою контактних клем.

На дисплеї лічильника, наведеному на рис. 21, висотою 25 мм, по черзі з тривалістю від 1 до 15 секунд відображаються вимірювані параметри.

Послідовність і тривалість відображуваних параметрів визначається за допомогою програмного забезпечення. Можна запрограмувати для виводу на дисплей до 64 різних параметрів. РКІ функціонує і дозволяє здійснювати

мережу (вказуючи зворотний потік енергії). Стрілки індикаторів мигають з частотою, пропорційною прикладеному навантаженню.

6. *Індикатор кінця інтервалу (EOI)*. Індикатор кінця інтервалу використовують для сигналізації про закінчення інтервалу усереднення при вимірі потужності. Індикація кінця часу інтервалу EOI виникає за 10 секунд до закінчення інтервалу усереднення, з закінченням цього інтервалу індикація EOI зникає.

Дисплей може бути запрограмований для роботи в двох режимах: нормальному і допоміжному.

Нормальний режим роботи

Лічильник завжди працює в нормальному режимі доти, доки не будуть натиснуті кнопки ALT або TEST, або поки не буде виявлена помилка в роботі вузлів лічильника. В цьому режимі на дисплеї відображаються мінімальні дані, використовувані для комерційних розрахунків, такі як:

- сумарне і за тарифними зонами споживання активної (kWh) і реактивної (kVARh) енергії;
- час і дата споживання максимальної потужності (k) за окремими тарифними зонами;
- поточний час, дата і т.д.

Допоміжний режим (ALT)

Цей режим устанавлюється після натискання кнопки ALT. Звичайно, застосовують для відображення даних, не використовуваних для комерційних розрахунків, таких як:

- кількість скидань показань лічильника;
- дата останнього зчитування;
- дата перепрограмування;
- час, дата і кількість перерв в подачі живлення;
- значення енергії і потужності за попередній період обліку та ін.

Після закінчення одного повного циклу допоміжного режиму лічильник автоматично повертається до нормального режиму роботи.

Режим тестування (TEST)

Використовують звичайно для перевірки лічильника.

Режим помилки

Якщо лічильник виявляє подію, що впливає на його роботу або на схоронність накопичених даних, то він автоматично перемикається в режим помилки. Сигнали помилок і попереджень відображають як повідомлення Err або F з відповідним кодовим позначенням, що вказує на характер помилки.

Залежно від вимог замовника лічильник АЛЬФА може бути виготовлений в чотирьох основних виконаннях. Додаткові функції можуть бути отримані за допомогою установки різних електронних плат, що підключаються до основної плати лічильника АЛЬФА.

- A1D - базовий лічильник АЛЬФА.

Лічильник призначений для виміру активної енергії і максимальної потужності.

- A1T - багатотарифний лічильник АЛЬФА.

Лічильник призначений для виміру активної енергії і максимальної потужності в багатотарифному режимі до 4 тарифів

- A1R - лічильник АЛЬФА для виміру активної і реактивної енергії і потужності.

Має можливість виміру в двох варіантах:

1. Активна енергія і максимальна потужність в багатотарифному режимі і сумарна реактивна енергія без режиму багатотарифності.

2. Реактивна енергія і максимальна потужність в багатотарифному режимі і сумарній активній енергії без режиму багатотарифності.

Зміну варіанта вимірів виконують за допомогою програмного забезпечення EMFPLUS.

- A1K – лічильник повної енергії. Він ідентичний до лічильника АЛЬФА типу A1R, за винятком того, що виконує вимір повної енергії і потужності замість реактивної.

Для розширення функціональних можливостей лічильника АЛЬФА використовують дві плати - плата А+ і плата С (плата реле).

Лічильник АЛЬФА має наступні додаткові функціональні можливості:

- вимірювання активної і реактивної енергії в двох напрямках;
- запис і зберігання даних графіка навантаження;
- передача результатів виміру імпульсними або цифровими каналами зв'язку.

Додаткову плату А+ використовують для додання базовим типам лічильників A1R, A1K функцій виміру енергії і потужності в двох напрямках, а також зберігання даних графіка навантаження (до чотирьох каналів), у тому числі й для A1T. Плату А+ випускають в трьох модифікаціях: АТ, ОL, АL. При використанні плати А+ базові типи лічильників можуть бути модифіковані в наступні типи: A1T-О, A1R-АО, A1R-OL, A1R-AL, A1K-АО, A1K-OL, A1K-AL (буква L позначає наявність функції зберігання даних графіка навантаження, а буква А позначає функцію виміру енергії і потужності в двох напрямках).

A1T-L – багатотарифний лічильник активної енергії і максимальної потужності з записом графіка активного навантаження в пам'ять лічильника.

Конструкція лічильника ідентична до конструкції A1T, за винятком того, що дозволяє записувати дані за вимірюваною потужністю для кожного інтервалу усереднення. Ці дані може зчитувати підприємство щомісяця або на вимогу для забезпечення комплексного запису потужності за розрахунковий період відповідно до реального часу і дати.

A1R-L – багатотарифний лічильник активної і реактивної енергії, а також максимальної потужності з записом графіка активного навантаження в пам'ять лічильника.

Конструкція лічильника ідентична конструкції A1R, за винятком того, що дозволяє записувати дані за вимірюваній активній енергії для кожного інтервалу усереднення.

A1R–A – багатотарифний лічильник, що вимірює активну й реактивну енергію, а також максимальну потужність у двох напрямках.

Основні характеристики цього типу лічильника ідентичні до типа A1R, за винятком того, що даний лічильник має додаткову здатність проводити виміри в багатотарифному режимі активної і реактивної енергії в двох напрямках.

Лічильник може бути запрограмований на кожний з наступних наборів показань:

1. Одноквадрантні виміри в багатотарифному режимі активної і реактивної енергії і потужності:

- споживана активна енергія;
- споживана реактивна енергія (тільки один квадрант);
- середнє значення коефіцієнта потужності $\cos \varphi$ останнього інтервалу усереднення активної потужності;
- середнє значення коефіцієнта потужності $\cos \varphi$ за розрахунковий період.

2. Двоквадрантні виміри в багатотарифному режимі активної і реактивної енергії і потужності:

- споживана активна енергія;
- реактивна енергія 1-го квадранта (індуктивне навантаження);
- реактивна енергія 4-го квадранта (ємнісне навантаження);
- середнє значення коефіцієнта потужності $\cos \varphi$ останнього інтервалу усереднення активної потужності;
- середнє значення коефіцієнта потужності $\cos \varphi$ за розрахунковий період.

3. Чотириквадрантні виміри в багатотарифному режимі активної і реактивної енергії і потужності:

- споживана активна енергія;
- видана активна енергія;
- реактивна енергія 1-го квадранту;
- реактивна енергія 2-го квадранту;
- реактивна енергія 3-го квадранту;
- реактивна енергія 4-го квадранту;
- реактивна потужність 1-го квадранту в момент максимального споживання активної потужності;
- реактивна потужність 1-го квадранту в момент максимального виробітку активної потужності;

A1R–AL – багатотарифний лічильник, що вимірює активну й реактивну енергію і максимальну потужність з записом в пам'ять лічильника графіків активного й реактивного навантаження в двох напрямках.

Лічильник АЛbФА, що володіє максимальним набором функцій. Основні характеристики цього лічильника ідентичні до типа A1R-A, за винятком того, що встановлена додаткова пам'ять на платі A+ дає можливість записати значення потужності за повний обліковий період.

В пам'ять можуть бути записані значення таких вимірюваних величин, як активна потужність в двох напрямках і реактивна потужність в двох напрямках.

Інтервали запису потужності можуть бути обрані з ряду 1, 3, 5, 10, 15, 30, 60 хв. Глибина запису даних у пам'ять залежить від інтервалу часу, обраного для запису, й кількості використовуваних каналів. Наприклад, при 4 - каналному записі з інтервалом усереднення 30 хв. дані накопичують протягом 20 днів; з інтервалом в 5 хв. - протягом 53 днів.

A1K-A – багатотарифний лічильник, що вимірює активну і повну енергію і максимальну потужність в двох напрямках.

Основні характеристики цього лічильника ідентичні до типа A1K, за винятком того, що даний лічильник має можливість проводити виміри активної енергії в двох напрямках і повної енергії.

Крім того, є можливість виміру коефіцієнта потужності в наступних режимах:

- середнє значення коефіцієнта потужності за розрахунковий період для спожитої активної енергії;
- значення коефіцієнта потужності останнього інтервалу усереднення для спожитої активної енергії;
- значення коефіцієнта потужності останнього інтервалу усереднення для виданої активної енергії.

A1K-AL – багатотарифний лічильник, що вимірює активну і повну енергію і максимальну потужність з записом в пам'ять лічильника графіків активного і повного навантаження в двох напрямках.

Основні характеристики лічильника ідентичні до типа A1K-A, за винятком того, що запис даних у пам'ять лічильника, зроблена лічильником A1K-A, здійснюється подібно до запису в лічильнику A1R-AL.

На платі C (плата Реле) розташовані інтерфейси лічильника АЛbФА, які використовуються для організації зв'язку лічильника з різними пристроями збору даних імпульсними або цифровими каналами зв'язку.

Лічильник АЛbФА має наступні інтерфейси:

1. Електронні реле з оптичною розв'язкою, на виході яких частота імпульсів пропорційна вимірюваній потужності.

Можна замовити й установити в обрану модифікацію лічильника АЛbФА електронну плату C з одним або більше напівпровідниковими реле, що можуть бути запрограмовані для виводу наступної інформації:

- перше реле - вихід за активною спожитою енергією;
- друге реле - вихід за реактивною спожитою енергією;
- третє реле - вихід за активною виданою енергією;
- четверте реле – вихід за реактивною виданою енергією.

Частота імпульсів на виході реле пропорційна вимірюваній потужності, а кількість - вимірюваній енергії (активної і реактивної в двох напрямках залежно від типу лічильника). Для збільшення перешкодозахищеності переданої інформації електронні реле виконані для струму навантаження до 100 мА з робочою напругою до 120 В. Ці реле можуть працювати як на постійному, так і на змінному струмі.

2. Електронна плата з двома гальванічно розв'язаними групами реле.

Плата дозволяє здійснювати зчитування інформації з лічильника АЛФА по імпульсних каналах на дві незалежні системи АСКОВЕ.

На платі можуть бути розміщені групи по два напівпровідникових реле і по п'ять груп на кожен канал. Частота імпульсів на виходах реле може задаватися в широкому діапазоні за допомогою програмного забезпечення EMPFLUS, що дозволяє включати лічильники АЛФА практично в будь-яку існуючу систему АСКОВЕ.

На платі С разом з електронними реле можуть бути розміщені також інші (цифрові) інтерфейси.

3. “Струмова петля”.

“Струмова петля” з оптичною розв'язкою на 1,5 кВ дозволяє передавати однією парою інформаційних проводів не тільки дані про вимірювану енергію й потужність, але й численну додаткову інформацію, таку як:

- час і дата початку відключення живлення або фази;
- час і дата закінчення перерви живлення або включення фази;
- тип лічильника і сталі, що відбивають схему підключення лічильника до зовнішніх ланцюгів;
- наявність тарифних зон та їхній розподіл за добою;
- дані самодіагностики лічильника і розшифровка цих повідомлень та інші дані.

Інтерфейс “струмова петля” використовують у випадках, де потрібні підвищені вимоги і вірогідність переданої інформації, оскільки протокол обміну передбачає видачу підтвердження правильності прийнятої і переданої інформації.

Інтерфейс “струмова петля” дозволяє передавати інформацію послідовним кодом на відстані до 150 м. Протоколи обміну за інтерфейсом “струмова петля” підтримуються апаратно-програмними засобами плати А+. Тому для можливості роботи лічильника за інтерфейсу “струмова петля” лічильник повинен мати в своєму складі плату А+ (модифікації AL, AT або OL).

4. Послідовний (цифровий) інтерфейс RS-485.

Інтерфейс RS-485 дозволяє зчитувати інформацію з лічильника з відстані до 1,5 км, а також поєднувати до 31 лічильника на загальну шину без будь-яких додаткових пристроїв.

5. Оптичний порт зв'язку.

Оптичний порт використовують для зв'язку лічильника АЛФА з комп'ютером для заводського калібрування, програмування, метрологічної перевірки, завдання різних сталей.

Крім цього, оптичний порт використовують при знятті інформації з лічильників АЛЬФА на місці їхньої установки за допомогою інженерного пульта або переносних комп'ютерів Notebook.

Кабель UNICOM PROBE являє собою пристрій зв'язку між оптичним портом лічильника і послідовним портом комп'ютера RS-232. UNICOM PROBE перетворює оптичні сигнали лічильника в рівень напруг послідовного інтерфейсу RS-232. Довжина кабелю перетворювача 2 м. Живлення пристрою може здійснюватися або від батареї 9В або від мережного адаптера.

На платі є додаткове п'яте реле, що використовують для керування навантаженням. Регулювання навантаження можна здійснювати в наступних режимах:

- спрацьовування реле в тарифних зонах відповідно до заданої уставкою потужності (для кожної тарифної зони можна визначити уставку спрацьовування реле);
- спрацьовування реле з настанням заданої тарифної зони.

Реле регулювання навантаження можна використовувати як сигнальне в випадку перевищення потужності заданої уставки. Лічильник має програмні і апаратні засоби захисту. Кожен лічильник має свій пароль, що використовується на рівні обміну інформацією між лічильником і комп'ютером, за допомогою якого здійснюється доступ до даних лічильника і його перепрограмування.

Крім цього програмне забезпечення має свої вхідні коди, що перешкоджають роботі з програмним пакетом несанкціонованим особам.

Програмний пакет EMFPLUS 2.30 (504MD) надає три різних рівні доступу до лічильників для:

- споживача;
- експлуатаційних служб;
- енергопостачальних організацій;
- ремонтних служб;
- енергопостачальних організацій, що мають право держперевірки.

В конструкції лічильника забезпечено подвійне пломбування між кришкою й основою. Кришка лічильника опечатана пломбою заводу - виготовника при проведенні калібрування й тестування лічильника, а також пломбою Держстандарту при проведенні перевірки лічильників держпівірителем.

Кришка клемника може бути опечатана додатковою пломбою при установці лічильника службами місцевого Енергозбуту. Кришку лічильника не можна зняти, не знявши спочатку кришку клемника без порушення пломби.

Електронні вузли лічильника під керуванням його програмних засобів піддають самодіагностиці кожні 24 години. При цьому перевіряється робота всіх основних вузлів лічильника АЛЬФА:

- вбудованої батареї;
- мікропроцесора;
- пам'яті;

- внутрішніх інтерфейсів;
- робота сегментів дисплея та ін.

Виявлена несправність викликає появу на дисплеї лічильника повідомлення про помилку.

Лічильник АЛЬФА записує в пам'ять кількість всіх відключень живлення (до 9999 відключень), а також час і дату початку й кінця останнього відключення живлення.

Лічильник зберігає кількість скидань потужності (до 99), які мали місце з моменту останнього перепрограмування лічильника. В пам'яті лічильника зберігається також кількість днів з моменту останнього скидання потужності, а у випадку роботи лічильника в багатотарифному режимі й дата останнього скидання потужності.

Лічильник записує загальна кількість звертань до лічильника через оптичний порт (до 99), а також останню дату перепрограмування і дату, коли будь-які дані в самому лічильнику були змінені.

Перегляд журналу зв'язків здійснюють за допомогою програмного забезпечення EMFPLUS.

ЛЕКЦІЯ 6

АНАЛІЗАТОРИ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Поступовий розвиток середовища перебування людини, насичення його виробничої і побутової сфер приладами й пристроями, що використовують з тією чи іншою метою електричну енергію, висуває до якості електричної енергії особливі вимоги. Усвідомлення цього факту стало причиною виникнення вимог до якості електричної енергії, що були оформлені у вигляді міждержавного стандарту ДЕРЖСТАНДАРТ 13109 - 97 «Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення». Відповідно до цього документа встановлені два види норм якості електроенергії: нормально припустимі й гранично припустимі.

Показниками якості електроенергії встановлені наступні величини:

1. Відхилення напруги.
2. Коливання напруги, що характеризуються наступними показниками:
 - розмахом зміни напруги;
 - дозою флікера.
3. Несинусоїдність напруги, що характеризується наступними показниками:
 - коефіцієнтом спотворення синусоїдності кривої напруги;
 - коефіцієнтом n-ої гармонійної складової напруги.
4. Несиметрія напруг, що характеризується наступними показниками:
 - коефіцієнтом несиметрії напруг за зворотною послідовністю;
 - коефіцієнтом несиметрії напруг за нульовою послідовністю.

5. Відхилення частоти, що характеризується показником відхилення частоти.

6. Провал напруги, що характеризується тривалістю провалу.

7. Імпульс напруги, що характеризується показником імпульсної напруги.

8. Тимчасова перенапруга, що характеризується показником коефіцієнта тимчасової перенапруги.

Визначення показників якості електроенергії стало неодмінною технічною характеристикою сучасних електронних лічильників електричної енергії. Однак ці функції були додані до їхньої основної функції - обліку. Така модернізація лічильників електроенергії має комерційну мотивацію, а не є природним розвитком вимірювальної схеми. Більш перспективним є додання сучасним аналізаторам параметрів якості електричної енергії функції обліку, що не вимагає модифікації вимірювальної схеми, а вимагає лише зміни програми роботи мікропроцесора.

Розглянемо лічильник електроенергії, функціональні можливості якого розширені для забезпечення аудита якості електроенергії.

Лічильник ION 8500 є спільною розробкою концерну АББ і канадської компанії Power Measurement. Цей лічильник має потужну мікропроцесорну систему, збільшену пам'ять до 4 Мб для зберігання до 320 обмірюваних параметрів, два цифрових інтерфейси для одночасного доступу до лічильника з двох різних місць, гнучку тарифну систему і відповідає всім вимогам сучасного ринку електроенергії.

Лічильники ION 8500 мають клас точності 0,2S, вимірюють енергію і потужність в двох напрямках, вимірюють вищі гармоніки до 63 включно, вимірюють струм в нульовому проводі і проводять розрахунки для компенсації втрат в трансформаторі. Вони відповідають вимогам ДЕРЖСТАНДАРТ 13109 - 97 і можуть використатися не тільки з метою обліку електроенергії, але й з метою аудита якості електроенергії.

Лічильники цієї серії дозволяють аналізувати всі (крім флікера) параметри якості електроенергії і роботи мережі. Лічильники ION є інтелектуальним приладом нового покоління, які не тільки аналізують параметри електроенергії, але й контролюють їх, а також сигналізують про всі зміни й відхилення параметрів мережі від нормальних. Технічні параметри лічильника ION 8500 наведені в табл. 1.

Лічильники ION 8500 можна використовувати також і як аварійний осцилограф з розв'язною здатністю до 160мкс для фіксації (запису) параметрів під час аварії. Причому параметр, за яким відбувається запис у пам'ять аварійних процесів, може вибиратися з 320 параметрів.

ТОВ «ПАРМА» (м. Санкт-Петербург, Росія) розробило реєстратор параметрів електроенергії «ПАРМА РК 3.01».

«ПАРМА РК 3.01» установлюється на межі балансової приналежності енергопостачальної організації і споживача.

Область застосування приладу:

- контроль параметрів електричної енергії на підприємствах промисловості й енергооб'єктах з метою оптимізації режимів і графіків енергоспоживання (енергоаудит);

- обов'язкова сертифікація електроенергії, що генерується, і споживаної громадянами;

- експертизи якості електроенергії, пов'язані з можливими позовами за договорами енергопостачання.

Таблиця 1 - Технічні параметри лічильника ION 8500

| Найменування величини | Значення |
|---|--|
| Клас точності | 0,2S |
| Точність вимірів: Напруг Струмів Струму в нейтральному проводі Частоти Гармонік | 0,1% 0,1% 0,4% 0,01% 1% |
| Номинальний струм Номинальна напруга Максимальний струм Споживана потужність струмовими ланцюгами Чутливість | 1, 2, 5, 10 А 57/100 В, 220/380 В 20 А 0.15 ВА при струмі 20 А 1 мА |
| Діапазон частоти мережі | 47 –63 Гц |
| Цифрові інтерфейси | Оптичний порт від 9600 до 19200 біт/сек, напівдуплекс; RS 232 від 300 до 115200 біт/сек, повний дуплекс; RS 485 від 300 до 57600 біт/сек, напівдуплекс; Внутрішній модем; Ethernet 10 Мбит/сек, напівдуплекс |
| Протоколи обміну | ION, Modbus RTU, DNP 3.0 |
| Синхронізація часу | Від внутрішнього кварцу; Від частоти мережі; Від GPS приймача; Від по Meter Shop (комп'ютера) |
| Робочий діапазон температур | Від – 40° С до + 70° С |
| Вологість | 5 – 95% |

Прилад призначений для автоматизації комерційного і технічного контролю показників якості електричної енергії (ПЯЕ) за ДСТ 13109 - 97 в однофазній і трифазній електричній мережах, з класами напруг 380В при безпосередньому вимірі, і від 6 кВ і вище при використанні вторинних вимірювальних трансформаторів напруги.

«ПАРМА РК 3.01» підтримує тривале зберігання обробленої інформації (до 10 років), що дозволяє його застосування на віддалених об'єктах, що не обслуговуються.

Похибка виміру основних параметрів якості електроенергії (абсолютна – Δ , відносна – δ):

- стале відхилення напруги $\delta = \pm 0,2\%$;
- тривалість провалу напруги $\Delta = \pm 0,01$ с;
- коефіцієнт несиметрії напруг за зворотною послідовністю $\Delta = \pm 0,3\%$;
- коефіцієнт несиметрії напруг за нульовою послідовністю $\Delta = \pm 0,5\%$;
- коефіцієнт тимчасової перенапруги до 1,3 Uном, $\Delta = \pm 2,2\text{В}$;
- відхилення частоти $\Delta = \pm 0,02\text{Гц}$;
- коефіцієнт n – ой гармонійної складової напруги $\Delta = \pm 0,05\%$ при $K < 1\%$, $\delta = \pm 5\%$ при $K > 1\%$.

У табл. 2 наведено характеристики реєстратора параметрів електроенергії.

Таблиця 2 – Характеристики реєстратора параметрів електроенергії «ПАРМА РК 3.01»

| Найменування величини | Значення |
|---|--|
| Число вхідних каналів | 3 |
| Діапазон вхідних напруг змінного струму, В | 31,5 – 520 |
| Час безперервної реєстрації, доба | 7 |
| Електрична міцність ізоляції між каналами, кВ | 3,5 |
| Напруга живлення реєстратора (АС/DC), В | 100 – 240 |
| Вхідний опір реєстратора, кОм, не менш | 500 |
| Габаритні розміри, мм | 200x230x80 |
| Робочі умови застосування | від -20°З до $+55^{\circ}\text{З}$ |
| Споживана потужність, ВА, не більше | 10 |
| Потужність, споживана по вимірювальних каналах, ВА, не більше | 1,5 |
| Маса виробу, кг, не більше | 1,5 |

Прилад підтримує наступні сервісні функції:

- роздільні ізольовані входи для кожного каналу, що дозволяє реєструвати напругу від різних систем одночасно;
- можливість виміру параметрів напруг в однофазній і трифазній (трьох - і чотирьохпровідних) електричних мережах;
- графічний РКІ 128x64 точки, функціональна клавіатура;
- багатоступінчасте меню, відображення на РКІ вимірюваних і розрахункових величин, що характеризують поточні показники якості електричної енергії;
- можливість підключення принтера для роздрукування протоколу результатів вимірів;
- можливість зв'язку з ПК через паралельний/ послідовний інтерфейс для конфігурування приладу і зчитування накопиченої статистичної інформації, а також вбудовування в системи АСКТП і АСКОЕ;
- завдання користувачем декількох (до чотирьох) часових інтервалів протягом доби й астрономічного часу початку і закінчення кожного тимчасового інтервалу;

- уведення користувачем декількох (для кожного часового інтервалу) наборів нормально й гранично допустимих відхилень ПЯЕ і номінальних значень вхідних сигналів;

- багаторівневе розмежування прав доступу і конфігурування приладу.

До найбільш перспективних вітчизняних аналізаторів якості електричної енергії належить аналізатор напруг і струмів в електричних мережах «АНТЭС АК-3Ф». Цей прилад розроблено на кафедрі електропостачання міст Харківської національної академії міського господарства.

Аналізатор напруг і струмів в електричних мережах «АНТЭС АК-3Ф» є автоматизованим багатоцільовим приладом. Він призначений:

- для виміру і аналізу електроспоживання;
- для виміру і аналізу показників якості електроенергії (ПЯЕ), встановлених ДЕРЖСТАНДАРТ 13.109 - 97;
- для виявлення джерел погіршення ПЯЕ;
- для виконання функцій вольтамперфазометра.

Прилад зберігає працездатність при впливі наступних кліматичних факторів зовнішнього середовища:

- температура навколишнього повітря від $+20^{\circ}\text{C}$ до $+55^{\circ}\text{C}$;
- відносна вологість повітря 90% при 30°C ;
- атмосферний тиск від 84 до 106 кПа.

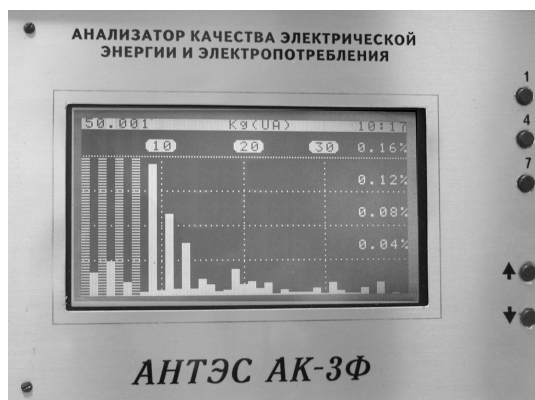
Для електроживлення «АНТЭС АК-3Ф» використовують живильну мережу напругою 220 В і частотою 50 Гц, при цьому максимальна споживана потужність становить близько 7 Вт.

Прилад виконаний в корпусі, на передній панелі якої розташовані дисплей, клавіатура, інтерфейс рознімання USB і тумблер ввімкнення (рис.22). На задній панелі розташовані клемні колодки для підключення вимірюваних напруг 100/220 В, струмів $I_{\text{ном}} = 5 \text{ А}$, струмовимірювальних клещів $I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$, а також клема заземлення. Аналізатор є переносним приладом і укомплектований сумкою з ременем, призначеною для його перенесення і зберігання аксесуарів.

Величини, вимірювані приладом «АНТЭС АК-3Ф», представлені в табл. 3.



а



б

Рис. 22 - Аналізатор напруг і струмів в електричних мережах «АНТЭС АК-3Ф»: а - загальний вигляд; б - дисплей

Приведення діапазону виміру до первинних ланцюгів виробляється шляхом множення діапазону на відповідні коефіцієнти трансформації вимірювальних трансформаторів струму й напруги. При відображенні вимірюваних величин одиниці виміри автоматично настроюються на використовувані вимірювальні трансформатори.

Таблица 3 - Величини, вимірювані приладом «АНТЭС АК-3Ф»

| № з/п | Найменування вимірюваної величини | Одиниця виміру | Умовна позначка | Діапазон виміру | Відносна похибка вимір., % |
|-------|---|----------------|-----------------|-------------------------------|----------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | Діюче значення напруги (в кожній фазі) | В | U_A, U_B, U_C | $3 - 100/\sqrt{3}$ 3 - 220 | 0,5 |
| 2 | Діюче значення сили змінного струму (в кожній фазі) | А | I_A, I_B, I_C | 0 – 5 | 0,5 |
| 3 | Коефіцієнт спотворення синусоїдності кривої напруги (в кожній фазі) | % | K_U | 0 – 100 | 0,5 |
| 4 | Коефіцієнт спотворення синусоїдності кривої струму (в кожній фазі) | % | K_I | 0 – 100 | 0,5 |
| 5 | Коефіцієнт n – ої гармонійної складової напруги для n від 2 до 40 (в кожній фазі) | % | $K_{U(n)}$ | 0 – 100 | 0,5 |

Продовження табл. 3

| | | | | | |
|----|--|---|--------------------------|-------------------------------|------|
| 6 | Коефіцієнт n – ої гармонійної складової за струмом для n від 2 до 40 (в кожній фазі) | % | $K_{I(n)}$ | 0 – 100 | 0,5 |
| 7 | Діюче значення гармонік за напруг (в кожній фазі) | B | $U_{(n)}$ | $0 - 100/\sqrt{3}$ 0 - 220 | – |
| 8 | Кут між векторами першої і n – і гармоніки за напруг (в кожній фазі) | ° | $\varphi_{U(n)}$ | 0 – 360 | 0,5 |
| 9 | Діюче значення гармонік за струмом (в кожній фазі) | A | $I_{(n)}$ | 0 – 5 | – |
| 10 | Кут між векторами першої і n – і гармоніки за струмом (в кожній фазі) | ° | $\varphi_{I(n)}$ | 0 – 360 | 0,05 |
| 11 | Кут між струмом і напругою (в кожній фазі) | ° | φ_{UI} | ± 90 | 0,05 |
| 12 | Кут зсуву між фазами A, B, C за напругою | ° | φ_U | ± 180 | 0,05 |
| 13 | Кут зсуву між фазами A, B, C за струмом | ° | φ_I | ± 180 | 0,05 |
| 14 | Коефіцієнт потужності в фазах A, B, C. | – | $\cos \varphi_{(A,B,C)}$ | ± 1 | 0,5 |
| 15 | Коефіцієнт потужності в трифазній мережі | – | $\cos \Psi$ | ± 1 | 0,5 |
| 16 | Коефіцієнт несиметрії напруги за зворотною послідовністю | % | K_{2U} | 0 – 100 | 0,5 |
| 17 | Коефіцієнт несиметрії струмів за зворотною послідовністю | % | K_{2I} | 0 – 100 | 0,5 |
| 18 | Коефіцієнт несиметрії напруги за нульовою послідовністю | % | K_{0U} | 0 – 100 | 0,5 |
| 19 | Коефіцієнт несиметрії струму за нульовою послідовністю | % | K_{0I} | 0 – 100 | 0,5 |
| 20 | Пряма послідовність напруги | B | U_1 | $0 - 100/\sqrt{3}$ 0 - 220 | 0,5 |
| 21 | Пряма послідовність струму | A | I_1 | 0 – 5 | 0,5 |
| 22 | Зворотна послідовність напруги | B | U_2 | $0 - 100/\sqrt{3}$ 0 - 220 | 0,5 |
| 23 | Зворотна послідовність струму | A | I_2 | 0 – 5 | 0,5 |

Продовження табл. 3

| | | | | | |
|----|--|--|--|---|--------------------|
| 24 | Нульова послідовність напруги | B | U_0 | $0-100/\sqrt{3}$ 0 - 220 | 0,5 |
| 25 | Нульова послідовність струму | A | I_0 | 0,2 – 5 | 0,5 |
| 26 | Стале відхилення напруги (в кожній фазі) | % | δU_y | 0 – 100 | 0,5 |
| 27 | Стале відхилення напруги в трифазній мережі | % | δU_1 | 0 – 100 | 0,5 |
| 28 | Активна, реактивна і повна потужність (за кожною фазою) | Вт (кВт, МВт), Вар (кВАр, Мвар), ВА (кВА, МВА) | $P_{(A,B,C)},$ $Q_{(A,B,C)},$ $S_{(A,B,C)}$ | $0 - 0,5/\sqrt{3}$ 0 – 1,1 | 0,5 |
| 29 | Активна, реактивна і повна потужність в трифазній мережі | Вт (кВт, МВт), Вар (кВАр, МВАр), ВА (кВА, МВА) | P, Q, S | $0 - 1,5/\sqrt{3}$ 0 – 3,3 0 – 3,33 | 0,5 |
| 30 | Активна+, активна-, реактивна+, реактивна- потужність (в кожній фазі) | Вт (кВт, МВт), Вар (кВАр, МВАр), ВА (кВА, МВА) | $P_{(A,B,C)} \pm ,$ $Q_{(A,B,C)} \pm$ | $0 - 0,5/\sqrt{3}$ 0 – 1,1 | 0,5 |
| 31 | Активна+, активна-, реактивна+, реактивна- потужність в трифазній мережі | Вт (кВт, МВт), Вар (кВАр, МВАр), ВА (кВА, МВА) | $P \pm ,$ $Q \pm$ | $0-1,5/\sqrt{3}$ 0 – 3,3 | 0,5 |
| 32 | Активна+, активна-, реактивна+, реактивна-, повна потужність в кожній фазі за n-ою гармонійною складовою для n від 1 до 40 | Вт (кВт, МВт), Вар (кВАр, МВАр), ВА (кВА, МВА) | $P_{(n)(A,B,C)} \pm ,$ $Q_{(n)(A,B,C)} \pm ,$ $S_{(n)(A,B,C)}$ | $0 - 1,5/\sqrt{3}$ 0 – 3,3 0 – 3,33 | 0,5 ⁽¹⁾ |
| 33 | Активна+, активна-, реактивна+, реактивна-, повна потужність зворотної послідовності | Вт (кВт, МВт), Вар (кВАр, МВАр), ВА (кВА, МВА) | $P_2 \pm ,$ $Q_2 \pm ,$ S_2 | $0 - 1,5/\sqrt{3}$ 0 - 3,3 0 - 3,33 | 0,5 ⁽²⁾ |

Продовження табл. 3

| | | | | | |
|----|--|---|---|--|-------------|
| 34 | Активна+, активна–, реактивна+, реактивна–, повна потужність нульової послідовності | Вт (кВт, МВт), ВАр (кВАр, МВАр), ВА (кВА, МВА) | $P_0 \pm$, $Q_0 \pm$, S_0 | $0 - 1,5/\sqrt{3}$ $0 - 3,3$ $0 - 3,33$ | $0,5^{(2)}$ |
| 35 | Активна+, активна–, реактивна+, реактивна–, повна потужність прямої послідовності | Вт (кВт, МВт), ВАр (кВАр, МВАр), ВА (кВА, МВА) | $P_1 \pm$, $Q_1 \pm$, S_1 | $0 - 1,5/\sqrt{3}$ $0 - 3,3$ $0 - 3,33$ | $0,5^{(2)}$ |
| 36 | Активна+, активна–, реактивна+, реактивна–, повна потужність спотворень | Вт (кВт, МВт), ВАр (кВАр, МВАр), ВА (кВА, МВА) | $\Delta P_T \pm$, $\Delta Q_T \pm$, ΔS_T | $0 - 1,5/\sqrt{3}$ $0 - 3,3$ $0 - 3,33$ | $0,5^{(3)}$ |
| 37 | Активна+, активна–, реактивна+, реактивна–, повна електроенергія спотворень | Вт·год кВт·год МВт·год ВАр·год кВАр· год МВАр· год | $\Delta W_{PT} \pm$ $\Delta W_{QT} \pm$ ΔW_{ST} | $0 -$ $0,5/\sqrt{3} \cdot 10^4$ $0 - 1,1 \cdot 10^4$ | $0,5^{(3)}$ |
| 38 | Електроенергія активна, реактивна в кожній фазі | Вт·год кВт·год МВт·год ВАр·год кВАр· год МВАр· год | $W_{P(A,B,C)}$ $W_{Q(A,B,C)}$ | $0 -$ $0,5/\sqrt{3} \cdot 10^4$ $0 - 1,1 \cdot 10^4$ | $0,5$ |
| 39 | Електроенергія активна, реактивна в трифазній мережі | Вт·год кВт·год МВт·год ВАр·год кВАр· год МВАр· год | W_P W_Q | $0 -$ $1,5/\sqrt{3} \cdot 10^4$ $0 - 3,3 \cdot 10^4$ | $0,5$ |
| 40 | Частота | Гц | f | 47– 53 | 0,1 |
| 41 | Відхилення частоти | Гц | Δf | ± 3 | 0,1 |

| | | | | | |
|----|--|-----|-----------------------------|---------|---|
| 42 | Лічильник числа виходів коефіцієнта спотворення синусоїдальності кривої напруги за нормально припустимі значення за кожен інтервал статистики в кожній фазі | шт. | НД($K_{U(A,B,C)}$) | 0–65535 | – |
| 43 | Лічильник числа виходів коефіцієнта спотворення синусоїдності кривої напруги за гранично припустимі значення (в кожній фазі) | шт. | ПД($K_{U(A,B,C)}$) | 0–65535 | – |
| 44 | Лічильник числа виходів коефіцієнта n – ой гармонійної складової напруги для n від 2 до 40 за нормально припустимі значення за кожен інтервал статистики в кожній фазі | шт. | НД ($K_{U(n)(A,B,C)}$) | 0–65535 | – |
| 45 | Лічильник числа виходів коефіцієнта n – ой гармонійної складової напруги для n від 2 до 40 за гранично припустимі значення за кожен інтервал статистики в кожній фазі | шт. | ПД ($K_{U(n)(A,B,C)}$) | 0–65535 | – |
| 46 | Лічильник числа виходів коефіцієнта несиметрії напруги за зворотній послідовності за нормально припустимі значення за кожен інтервал статистики | шт. | НД(K_{2U}) | 0–65535 | – |
| 47 | Лічильник числа виходів коефіцієнта несиметрії напруги за зворотній послідовності за гранично припустимі значення за кожен інтервал статистики | шт. | ПД(K_{2U}) | 0–65535 | – |
| 48 | Лічильник числа виходів коефіцієнта несиметрії напруги за нульовою послідовністю за нормально припуст. знач. за кожен інт-л статистики | шт. | НД(K_{0U}) | 0–65535 | – |

| | | | | | |
|----|---|-----|---------------------------------|---------|---|
| 49 | Лічильник числа виходів коефіцієнта несиметрії напруги за нульовою послідовністю за гранично припустимі значення за кожен інтервал статистики | шт. | ПД(K_{0U}) | 0–65535 | – |
| 50 | Лічильник числа виходів сталого відхилення напруги за нормально припустимі значення за кожен інтервал статистики в кожній фазі | шт. | НД ($\delta U_{Y(A,B,C)}$) | 0–65535 | – |
| 51 | Лічильник числа виходів сталого відхилення напруги за гранично припустимі значення за кожен інтервал статистики в кожній фазі | шт. | ПД ($\delta U_{Y(A,B,C)}$) | 0–65535 | – |
| 52 | Лічильник числа виходів сталого відхилення напруги за нормально припустимі значення за кожен інтервал статистики в трифазній мережі | шт. | НД(δU_1) | 0–65535 | – |
| 53 | Лічильник числа виходів сталого відхилення напруги за гранично припустимі значення за кожен інтервал статистики в трифазній мережі | шт. | ПД(δU_1) | 0–65535 | – |
| 54 | Лічильник числа виходів відхилення частоти за нормально припустимі значення за кожен інтервал статистики | шт. | НД(ΔF) | 0–65535 | – |
| 55 | Лічильник числа виходів відхилення частоти за гранично припустимі значення за кожен інтервал статистики | шт. | ПД(ΔF) | 0–65535 | – |
| 56 | Лічильник числа провалів напруги тривалістю до 30 с в кожній фазі | шт. | НД ($PP_{(A,B,C)}$) | 0–65535 | – |
| 57 | Лічильник числа провалів напруги тривалістю 30 с і більше в кожній фазі | шт. | ПД ($PP_{(A,B,C)}$) | 0–65535 | – |
| 58 | Лічильник числа тимчасових перенапруг в кожній фазі | шт. | НД ($PH_{(A,B,C)}$) | 0–65535 | – |

Продовження табл. 3

| | | | | | |
|----|--|-----------------------------------|---|--|---------------------------|
| 59 | Технологічні втрати в повітряних лініях електропередач (навантажувальні втрати) | Вт·год (кВт· год, МВт· год) | $\Delta W_{\text{нагр}}^{\text{ВЛ}}$ | 0 – 1,5/ $\sqrt{3}$ 0 - 3,3 0 - 3,33 | 0,5 |
| 60 | Технологічні втрати в повітряних лініях електропередач (втрати на коронний розряд) | Вт·год (кВт· год, МВт· год) | $\Delta W_{\text{кор}}^{\text{ВЛ}}$ | 0 – 1,5/ $\sqrt{3}$ 0 - 3,3 0 - 3,33 | 0,5 |
| 61 | Вольтамперфазометр трифазної мережі (контроль правильності підключення аналізаторів якості електроенергії і приладів обліку) | В (кВ), А (кА), ° | $U_A, U_B, U_C,$ $I_A, I_B, I_C,$ $\Phi_{I(A,B,C)},$ $\Phi_{U(B,C)}$ | 3 – 100/ $\sqrt{3}$ 3 – 220 0 – 5 $\pm 180^\circ$ | 0,5 0,5 0,5 0,05 |
| 62 | Журнал подій з фіксацією порушення нормально і гранично припустимих значень показника, величини показника і часу фіксації | – | – | | – |

Структурну схему приладу представлено на рис. 23. Прилад складається з вхідних пристроїв ВП1, ВП2, аналого - цифрових перетворювачів АЦП1, АЦП2, блоку обробки інформації БОІ, засобу відображення ЗВ, інтерфейсу ІС і клавіатури.

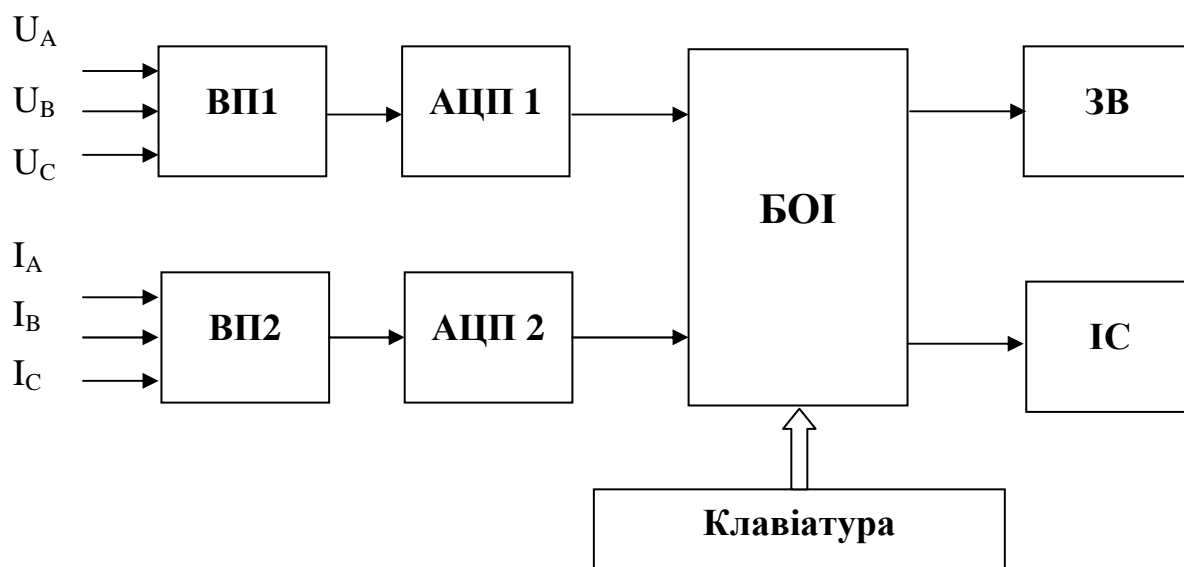


Рис. 23 - Структурна схема приладу «АНТЭС АК-3Ф»

Вимірювані напруги і струми надходять на вхідні пристрої ВП1 і ВП2 відповідно, що здійснюють гальванічну розв'язку високовольтних і низьковольтних ланцюгів і роблять масштабування вхідного сигналу. Крім того, на ВП1 і ВП2 встановлений мультіплексор, що по черзі підключає аналогові сигнали, що відповідають напрузі і струму кожної фази до входів аналого-цифрових перетворювачів АЦП1 і АЦП2 відповідно. Блок обробки інформації здійснює обробку і зберігання отриманої інформації від АЦП1 і АЦП2 відповідно до програм, збережених в його пам'яті. Вимір всіх параметрів здійснюється безупинно протягом усього циклу контролю.

Поточні і кінцеві значення вимірюваних величин виводяться на засоби відображення (ЗВ), за допомогою інтерфейсу (ІС) типу USB здійснюється вивід результатів виміру на зовнішній ПК.

Клавіатуру використовують для керування приладом при налаштуванні й перегляді результатів вимірів.

Прилад забезпечує обробку вхідних сигналів (струм, напруга), перетворених в цифровий код, за спеціалізованими програмами розрахунку вимірюваних величин, заснованих на ДПФ.

Алгоритми програм забезпечують розрахунок вимірюваних величин за формулами, установленими ДЕРЖСТАНДАРТ 13109 - 97. Методи і алгоритми обробки вхідних сигналів відповідають загальноприйнятим або спеціально розробленим з метою виміру ПЯЕ.

Оцінку допустимості обмірюваних ПЯЕ в порівнянні з їхніми нормованими значеннями здійснюють за ДСТ 13109 – 97, тобто за зіставленню границь 95-процентної ймовірності обмірюваних значень з нормально допустимими значеннями, а також за відносним часом (T_1 та T_2) перевищення допустимих значень. Нормативні значення ПЯЕ, крім відхилень напруги, вводять в прилад, як його уставки, програмно і зміні в оперативному порядку не підлягають.

ЛЕКЦІЯ 7

ВИКОРИСТАННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ ПРИСТРОЇВ В АВТОМАТИЗОВАНІЙ СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯМ

Процес керування системою електропостачання як промислового району, так і міста має усі ознаки керування складною системою. Тому використання автоматизованих систем в цьому процесі є незаперечним. Сучасні автоматизовані системи будують на широкому використанні засобів обчислювальної техніки й спеціалізованих мікропроцесорних систем. Розглянемо автоматизовану систему диспетчерського керування міста на прикладі комплексу ДЕКОНТ.

ДЕКОНТ являє собою сучасний повнофункціональний програмно-технічний комплекс, якість якого підтверджено численними діючими проектами в різних галузях.

Автоматизована система являє собою структуровану систему, що складається з уніфікованих програмно-апаратних компонентів (модулів), що базуються на принципах мережних технологій і складається з нижнього і верхнього рівнів.

На нижньому рівні для організації збору даних на об'єкті, телекерування, виконання завдань мікропроцесорних захистів і обліку електроенергії використовують інтелектуальні контрольовані пристрої КП:

- 1) Інтелектуальний контролер - Decont-182;
- 2) Мікропроцесорний пристрій релейного захисту (РЗА) - RZA-33;
- 3) Модуль для виміру активної і реактивної енергії змінного струму - ЄМЗ;
- 4) Модулі дискретного введення/виводу DIN16-220 й DOUT8-R07.
- 5) КП забезпечує наступні функції:
- 6) Збір інформації про стан ТС, ТВТ, ТВІ на ТП 84 з прив'язкою до астрономічного часу;
- 7) Первинна математична обробка сигналів (підсумовування, фільтрація, виявлення фактів виходів за гранично припустимі границі, і формування за фактом виходу подійного псевдосигналу типу ТС);
- 8) Корегування значень уставок, а також астрономічного часу КП за командами з верхнього рівня;
- 9) Керування масляними вимикачами;
- 10) Формування циклічного архіву ТС, ТВТ, ТВІ, ТК з прив'язкою до астрономічного часу з точністю 1,25мс;
- 11) Виконання релейних захистів трансформаторів.

На верхньому рівні АСДК використовують пристрій пункту керування ПК (інтелектуальний контролер) і автоматизоване робоче місце АРМ диспетчера, встановлені на диспетчерському пункті. АРМ диспетчера і ПК оснащують джерелом безперебійного живлення (UPS), що гарантує безперебійну роботу при короткочасних збоях в живильній мережі. ПК виконує функції маршрутизації потоків даних, що надходять від КП. Як канали зв'язку від КП встановлений на ТП-84 до ПК використовують радіоканал, побудований на базі радіомодемів СПЕКТР 433.

Пристрій ПК забезпечує:

- 1) Прийом інформації ТС, ТВТ, ТВІ від пристрою КП;
- 2) Прийом команд телекерування від АРМ Диспетчера і трансляцію їх на пристрої КП;

АРМ диспетчера побудований на базі ЕОМ під керуванням операційної системи Windows XP, з встановленим спеціалізованим програмним забезпеченням (ПЗ), забезпечує:

- 1) Автоматичний збір усієї інформації (ТС, ТВТ, ТВІ) від КП;
- 2) Виконання контролю вірогідності інформації і контроль доступу до неї;

3) Відображення інформації у вигляді мнемосхем ієрархічної структури;

4) Відображення поточного стану об'єкта, подання оперативної, архівної і довідкової інформації у вигляді графіків і таблиць;

5) Примусовий запит даних ТС, ТВТ, ТВІ за командою диспетчера і в автоматичному режимі;

6) Видача світлової і звукової сигналізації при зміні стану контрольованих сигналів або з появою недостовірних сигналів

7) Квитирування подій диспетчером;

8) Керування встаткуванням за команді диспетчера (ввімкнення/вимкнення масляних вимикачів);

9) Відображення станів усіх пристроїв телемеханіки, релейного захисту і обліку електроенергії;

10) Відображення стану каналів зв'язку: АРМ диспетчера – ПК, ПК - КП;

11) Стан каналів зв'язку між інтелектуальними контрольованими пристроями на об'єкті;

12) Архівація всієї службової інформації і перегляд її за будь-який проміжок часу.

Спеціалізоване програмне забезпечення встановлене на АРМ диспетчера має дружній інтерфейс стосовно користувача і забезпечує:

1) Відображення електричної однолінійної схеми контрольованого об'єкта;

2) Відображення стану масляних вимикачів ТП;

3) Ввімкнення/вимкнення масляних вимикачів;

4) Відображення службової інформації в загальному вікні в вигляді ієрархічної структури;

5) Колірне виділення об'єктів, що вимагають уваги диспетчера і аварійних подій, і багато чого іншого.

В якості базового процесорного модуля використовують інтелектуальний контролер - Descont-182.

Він має наступні експлуатаційні характеристики:

1) операційна система реального часу;

2) широкі комунікаційні можливості (два вбудованих і два змінних інтерфейси);

3) убудований ізолюваний інтерфейс RS485;

4) програмне забезпечення, що завантажується (FLASH 512K);

5) енергонезалежне ОЗП (512Кб);

6) годинники реального часу;

7) охоронний таймер;

- 8) маршрутизація;
- 9) підтримка мережі з балансовою архітектурою («спорадична передача» або «Майстер-слейв»);
- 10) живлення $=22...26$ В ($=9...30$ В починаючи з версії V7.2);
- 11) робочий діапазон температур $-40...+70^{\circ}\text{C}$.

В енергетиці добре відома проблема неселективної дії пристроїв сигналізації замикань на землю в мережах з компенсованою і ізольованою нейтраллю 6-10 кВ. Осередки 6 кВ ГПП комплектують пристроями сигналізації замикань на землю з реле типу УСЗ-2/2 і УСЗ-3, на ТП подібна сигналізація в мережах 6 кВ взагалі не передбачена.

Принцип роботи реле УСЗ-2/2 і УСЗ-3 заснований на контролі струмів вищих гармонік, що перевищують розрахункову уставку при замиканнях на землю, що не дозволяє однозначно визначати ушкоджені приєднання, й не виключає помилкових спрацьовувань.

Негативним наслідком було те, що для виділення ушкодженого приєднання з числа тих, де спрацювала сигналізація і подальшої локалізації виниклого замикання на землю, черговому персоналу було потрібно робити почергове відключення великої кількості споживачів ГПП з наступною дією мережної автоматики (АПВ - автоматичне повторне ввімкнення, АВР - автоматичне введення резерву). В результаті:

- 1) погіршувалася якість електропостачання споживачів через штатні перерви живлення під час перемикань і при дії мережної автоматики;
- 2) у випадку неспрацьовування автоматики, перерва живлення споживачів збільшувалась на час, необхідний для ввімкнення живлення вручну (від декількох хвилин до години);
- 3) була потрібна велика кількість часу на перемикання при відновленні нормальної схеми електропостачання, після визначення і локалізації аварійного приєднання.

З метою удосконалення роботи електричної мережі блок DIN-16K інтегрується в комплекс ДЕКОНТ аналогічно іншим стандартним блокам. Він складається з 2 каналів виміру напруги $3U_0$ в обмотці розімкнутого трикутника вимірювального трансформатора напруги типу НТМИ, і 14 каналів виміру струмів $3I_0$. (Виконаний за 7 струмових каналів на 1 канал напруги для можливості використання одного блоку на обидві секції ТП).

Можливість архівації подій при нестійких замиканнях на землю дозволяє аналізувати ситуацію і передбачати процес аварії, або відновлювати хід її розвитку.

Сімнадцять блоків DIN-16K встановлені на ТП і ГПП міста в мережах 6 кВ з компенсацією ємнісних струмів. Застосований блок істотно знизив час локалізації аварійної ділянки мережі і зменшив кількість перемикань,

здійснених диспетчерською службою, поліпшивши тим самим якість електропостачання.

Постачання якісної електроенергії є одним з основних завдань енергопостачальної організації. Необхідний рівень напруги в споживачів ТП 6/0,4 кВ, де трансформатори оснащені пристроєм регулювання напруги без навантаження (РБН) установлюють регулятором пристрою РБН. Положення регулятора вибирають виходячи з навантаження ТП на стороні 0,4 кВ і віддаленості від ГПП.

Звичайно комплекс ДЕКОНТ проектували як систему ТС, ТК і ТВ, де програмовані контролери серії ДЕКОНТ-182 використовували тільки для збору, зберігання й передачі інформації. Вивчивши можливості створення алгоритмів локальної автоматизації, записуваних в контролер, було вирішено реалізувати завдання АВР 6 кВ на ТП і автоматику регулювання під навантаженням (РПН) напруги силових трансформаторів 110/6 кВ на ГПП.

Перевага АВР з використанням контролера полягає в можливості повної відмови від електромеханічних реле і більшої кількості сполучних проводів, істотно підвищивши цим надійність функціонування схеми АВР. Завдання реалізації РПН виникли в результаті заміни блоків БАР (блок автоматичного регулювання), що використовували для цієї мети й відпрацювали строк своєї служби.

Виконаний на старій елементній базі БАР вимагає періодичного підстроювання і пов'язаного з цим виїзду на підстанції бригади для виконання операцій по перевірці й підстроюванню.

Для створення АВР і РПН використовували вже існуючі в складі комплексу ДЕКОНТ канали ТВ і ТС станів устаткування, необхідно було лише написати алгоритми функціонування й доповнити комплекс блоками керування.

Алгоритми локальної автоматики комплексу ДЕКОНТ створюють в середовищі ПЗ Developer, основу якого становить графічна мова програмування, що складається з діаграм і функціональних блоків. Мова відповідає світовому стандарту IEC-1131, має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, доступний грамотному технологіві.

Впровадження комплексу ДЕКОНТ (монтаж, конфігурування комплексу в апаратному і програмному забезпеченні, налагодження) можна виконувати силами служби РЗ і А ЦЕС міста. Спрощену структурну схему встановленого комплексу представлено на рис. 24, 25, 26.

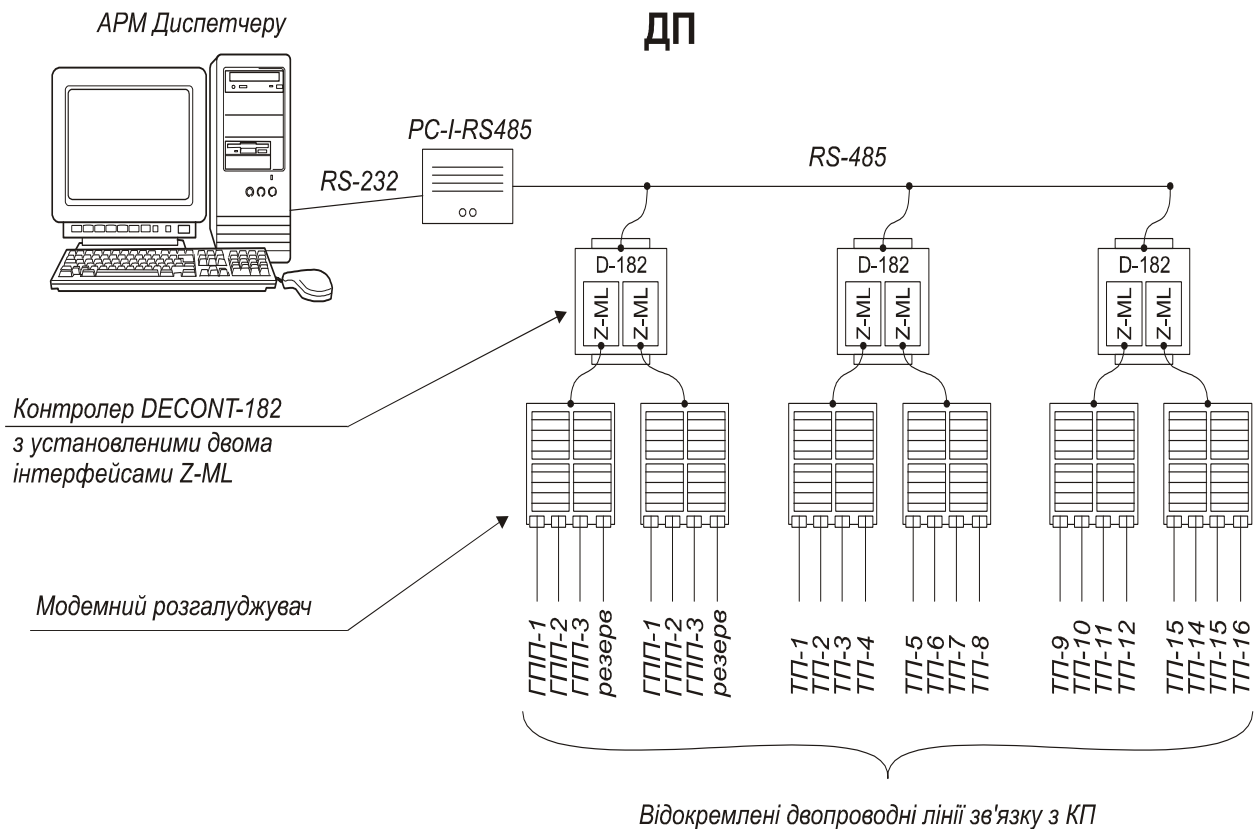
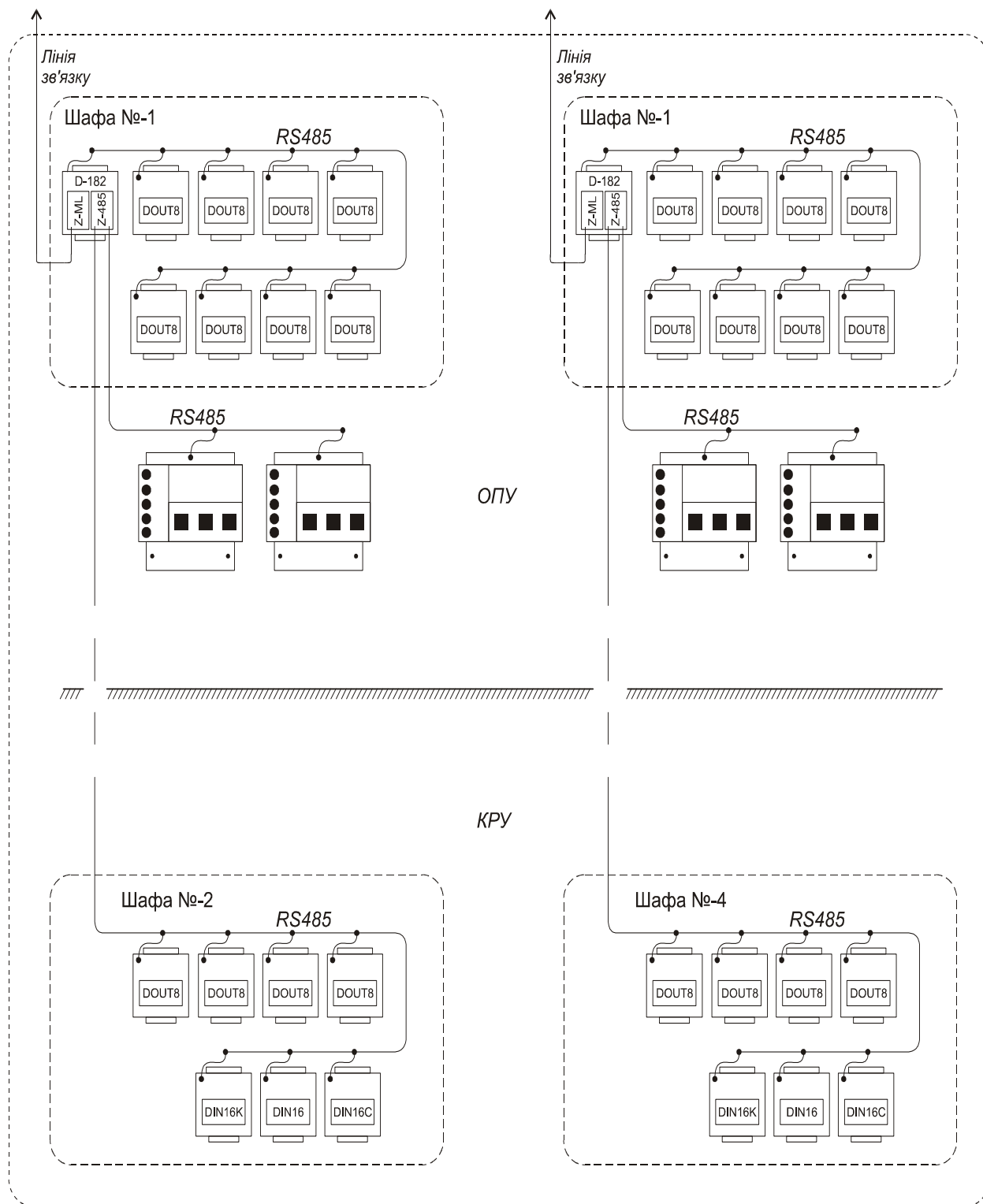


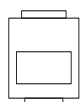
Рис. 24 - Схема розміщення встаткування на ДП

Для зв'язку з диспетчерським пунктом використовують існуючі виділені двопровідні ЛЗ. Комплекс охоплює три ГПП, п'ятнадцять ТП і містить в собі близько 1400 фізичних дискретних сигналів, 50 аналогових сигналів і 75 лічильників.

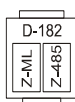
Диспетчер має можливість керувати всіма масляними вимикачами (МВ) 6, 35, 110 кВ ГПП, а так само входними і секційним МВ 6 кВ на ТП. Реалізовано автоматичне зчитування показань лічильників електроенергії, встановлених на ГПП.



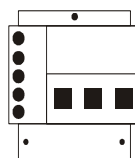
Позначення



Модуль вводу-виводу



Контролер D-182 з інтерфейсами Z-ML та Z-RS485



Блок захисту та автоматики RZA-33

Рис. 25 - Схема розміщення встаткування на ГПП

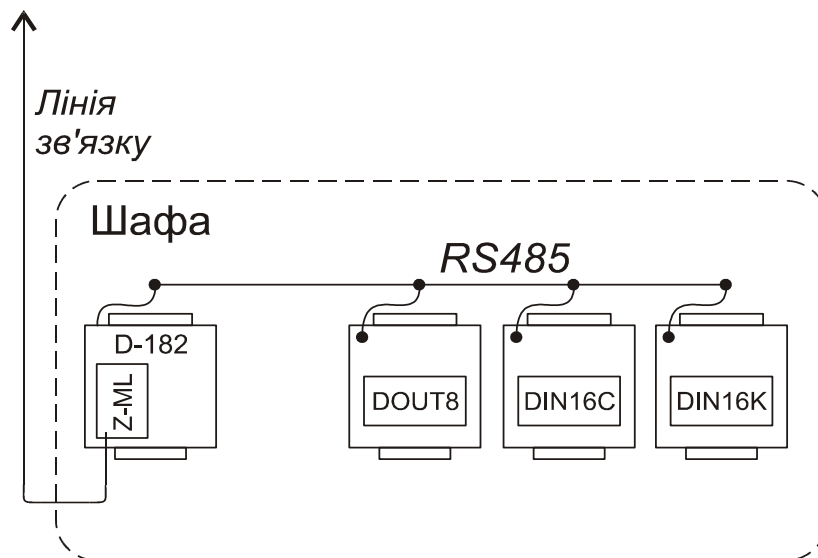


Рис. 26 - Схема розміщення встаткування на ТП

Особливістю конфігурації комплексу на ГПП є те, що встановивши для збору сигналів з кожного з двох трансформаторів і його секцій за контролеру (це найбільше відповідає технології перетворення і передачі електроенергії на ГПП) удалося вирішити проблему резервування ЛЗ, організувавши зв'язок між контролерами по інтерфейсу RS-485. Таким чином, кожний з контролерів має всю базу сигналів про ГПП і в випадку виходу з ладу однієї з ЛЗ диспетчер має повну інформацію про ГПП.

На базі комплексу ДЕКОНТ в мережах ЦЕС міста функціонують 14 схем АВР 6 кВ і 4 схеми автоматики РПН, а також одна схема АВР 6 кВ і 2 схеми автоматики РПН.

Використання таких можливостей комплексу ДЕКОНТ як архівації, телесигналізація, телекерування і безперервна діагностика, вирішення завдань АВР і РПН дозволило диспетчерові поліпшити якість контролю і керування процесами мережі. Можливість сполучення в єдиному комплексі функцій телемеханічного контролю, керування, виміру і обліку, а також локальної автоматики дозволяє істотно знизити сумарні витрати як при монтажі так і в процесі експлуатації системи.

Розробка блоку DIN-16K сигналізації замикань на землю в мережах 6кВ з ізольованою й компенсованою нейтраллю, одержала подальший розвиток в ідеї реалізації блоку захисту автоматики й виміри електричних параметрів RZA-33 в складі комплексу.

Релейний захист автоматики на об'єкті здійснюється за допомогою спеціалізованого мікропроцесорного пристрою РЗА.

Пристрій РЗА виконаний на мікропроцесорній елементній базі і призначений для комплексного вирішення завдань захистів, автоматики, виміру електроенергії й електричних параметрів, диспетчерського контролю і

керування (телемеханіки) на підстанції. В такому пристрої максимально реалізується мікропроцесорна технологія. Зовнішній вигляд пристрою наведено на рис. 27. Пристрій одержує інформацію з ланцюгів струму і напруги, аналізує стан дискретних входів і математично обробивши цю інформацію, видає її на дисплей, а також формує команди для дискретних виходів.



Рис. 27 Зовнішній вигляд пристрою РЗА-33

Блок захисту призначений для комплексного вирішення завдань приєднань і введень мереж 6 - 35 кВ:

- 1) 3-х східчастий ненаправлений максимальний струмовий захист (МТЗ) з 4-ма варіантами часо-струмових характеристик;
- 2) прискорення захисту при ввімкненні вимикача;
- 3) автоматика резервування відмови вимикача (УРОВ), автоматичне частотне розвантаження (АЧР), АПВ, АВР;
- 4) сигналізація однофазних замикань на землю;
- 5) вимір фазних струмів і напруг, токи і напруги нульової послідовності, $\cos \phi$, частоти основної гармоніки мережі, активної й повної потужності;
- 6) облік електроенергії - активної позитивної і негативної, реактивної позитивної і негативної;
- 7) архівація аварійних подій, реєстрація максимальних струмів і мінімальних напруг під час аварійних подій;

8) місцеве і дистанційне ввімкнення й вимкнення, контроль готовності ланцюгів керування;

9) інтеграція в сучасні ПТК через інтерфейс RS-485;

10) безперервний аналіз справності діагностичним ПЗ (стандартним для всієї номенклатури блоків комплексу) і вилучене зчитування верхнім рівнем параметрів діагностики.

Реалізація блоку захисту RZA-33 і його застосування на введеннях і лініях, що відходять, ГПП спростило технологію перевірки захистів, зменшивши тим самим трудовитрати обслуговування, дозволило реалізувати багатофункціональність, істотно підвищило надійність в порівнянні з захистами на електромеханічних реле і дозволило відмовитися від використання лічильників технічного обліку електроенергії.

Блоки захисту RZA-33 є найважливішим елементом функціонування електричної мережі й основним пристроєм в конфігурації комплексу, точками глибокого інтегрування в технологічний процес передачі, перетворення і розподілу електроенергії.

Із застосуванням блоку RZA-33 на ГПП змінилася конфігурація й состав комплексу ДЕКОНТ ЦЕС, збільшилася його інформативність, а завдяки великій кількості функцій і можливостей RZA-33, вивільнилися близько 30 блоків різного призначення (збір ТС, ТВ, видача ТК).

ЛЕКЦІЯ 8

ЗАВДАННЯ, СТРУКТУРА І ФУНКЦІЇ СУЧАСНИХ АСКОЕ

Вирішення проблеми оптимізації виробництва, постачання і споживання електричної енергії можливе тільки при вдосконаленні системи обліку.

Метою впровадження автоматизованої системи обліку електроенергії є: перехід до тарифів реального часу; одержання достовірного балансу виробництва розподілу і споживання електричної потужності або енергії; оцінка показників якості електричної енергії.

В програмному документі "Концепція побудови автоматизованих систем обліку електроенергії в умовах енергоринку" основні завдання, що повинна вирішувати АСКОЕ, сформульовані в такий спосіб:

«2. Основні вимоги до АСКОЕ

2.1. АСКОЕ повинна забезпечувати:

- збирання і збереження облікової інформації;
- обмін обліковою інформацією з платіжними системами для забезпечення регулювання споживання електроенергії абонентами.

2.2. АСКОЕ повинна забезпечувати періоди інтегрування вимірюваних величин - 15, 30 і 60 хвилин.

2.3. АСКОЕ повинна забезпечувати багатотарифний облік енергії:

- облік спожитої енергії для кожної тарифної зони зростаючим підсумком за поточні і минулі облікові періоди - добу, місяць;

- визначення максимальної потужності періоду інтегрування для кожної тарифної зони за поточні і минулі облікові періоди - добу, місяць;
- дистанційне програмування тарифних зон і чинних тарифів.

2.4. База даних АСКОЕ повинна містити:

- значення сумарної спожитої енергії;
- значення сумарної спожитої енергії для кожної тарифної зони;
- значення усередненої потужності відповідно до заданого періоду інтегрування;
- значення максимальної потужності періоду інтегрування протягом доби, місяця;
- значення максимальної потужності періоду інтеграції для кожної тарифної зони протягом доби, місяця;
- значення спожитої енергії за поточні і минулі облікові періоди - добу, місяць;
- графік навантаження відповідно до заданого періоду інтеграції;
- значення спожитої енергії у кожній тарифній зоні за поточні і минулі облікові періоди - добу, місяць;
- інформацію про події, пов'язані з позаштатними змінами зовнішнього і внутрішнього середовища (кількість відключень мережі живлення, кількість відключень навантаження внаслідок перевантаження струмом, кількість несанкціонованих спроб доступу);
- дані параметризації (тип приладу, заводський номер, код споживача, кількість змін даних, дата і година останньої зміни параметрів, корекція ходу таймера, інтервал інтегрування, константи).

2.5. АСКОЕ повинна забезпечувати ведення бази даних вимірюваної інформації платежів і споживачів електроенергії.

2.6. Первинні дані АСКОЕ в неопрацьованому вигляді підлягають архівації й збереженню без будь-яких корегувань.

2.7. База даних АСКОЕ повинна формуватися з обов'язковою прив'язкою вимірюваних величин до відповідної мітки години.

2.8. АСКОЕ, побудовані з використанням пристрою з електронними платіжними засобами (ППЗ), повинні складатися з сукупності цифрових вимірювальних каналів обліку (ЦВКО), до складу якої входять лічильник (ЛЧ), ППЗ, канал передачі даних (КПД) і устаткування збору й обробки даних (УЗД).

Примітка – КПД можуть бути реалізовані з застосуванням електронних пластикових карток (ЕК) або інших носіїв даних.

2.9. АСКОЕ повинна забезпечувати збереження даних при відключенні основної мережі живлення протягом не менше 60 діб і автоматичне відновлення працездатності при вмиканні живлення.

2.10. В АСКОЕ в якості ЛЧ, вимірювальних перетворювачів (ВП), перетворювачів імпульсів і приладу обліку (по) допускається використовувати тільки засоби вимірювання, занесені до Державного реєстру України, або такі, що пройшли державну метрологічну атестацію.

2.11. Документи, що описують протоколи інформаційної взаємодії з ЛЧ, ВП, по, локальним устаткуванням збору і обробки даних (ЛЮО) і центральним устаткуванням збору і обробки даних (ЦУЗД), повинні знаходитися в розпорядженні організації, відповідальної за технічне забезпечення.»

Відповідно до цих вимог запропоновано структурну схему багаторівневої системи обліку, що представлена на рис. 28.

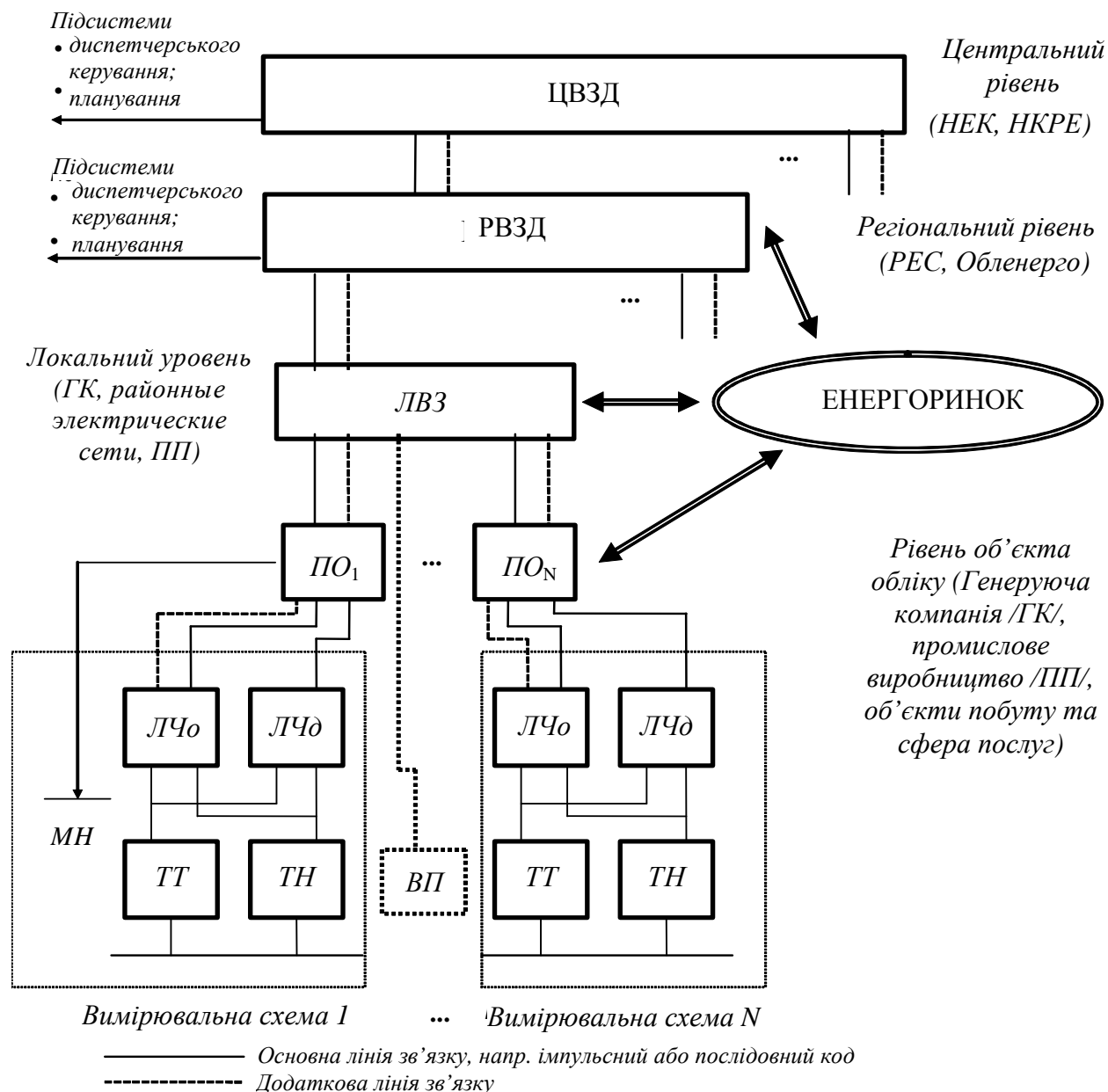


Рис. 28 – Структурна схема багаторівневої системи обліку

ТТ – трансформатори струму; ТН – трансформатори напруги; ВП – вимірник параметрів якості електроенергії; МН – маневрене навантаження; ЛЧ_о – лічильник електроенергії (основний лічильник); ЛЧ_д – лічильник електроенергії (дублюючий лічильник); ПО – прилад обліку – вимірювальний комплект ЛВЗ; ЛВЗ – локальне встаткування збору даних; РВЗД – регіональне встаткування збору даних; ЦВЗД – центральне встаткування збору даних

На нижньому рівні розташовують прилади первинного обліку, до яких відносяться лічильники електричної енергії або датчики електроенергії. В деяких випадках на цьому рівні працюють контролери, що керують навантаженням. На середньому рівні працюють контролери, які здійснюють зв'язок між нижнім і верхнім рівнями системи, а також проводять попередню обробку даних. На верхньому рівні працюють персональні комп'ютери, що за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення реалізують функції нагромадження, обробки, аналізу інформації і формування звітних документів у вигляді, придатному для прийняття керуючих рішень.

Основним напрямком модифікації представленої на рис. 28 структури є перенесення деяких функцій обробки інформації і керування на рівень приладів обліку, що приводить до істотної децентралізації системи обліку.

Досвід створення і експлуатації сучасних систем обліку дозволяє розширити перелік вимог до АСКОЕ:

- фіксація відхилень контрольованих величин енергообліку й їхня оцінка в абсолютних і відносних одиницях з метою полегшення аналізу енергоспоживання;
- сигналізація (світлом, звуком, друкуванням) відхилень контрольованих величин понад припустимий діапазон значень з метою прийняття оперативних рішень;
- прогнозування (коротко-, середньо- і довгострокове) значень величин енергообліку з метою планування енергоспоживання;
- автоматичне керування енергоспоживанням на основі заданих критеріїв і пріоритетних схем ввімкнення/вимкнення споживачів - регуляторів з метою економії ручної роботи і забезпечення якості керування;
- забезпечення внутрішнього госпрозрахунку за енергоресурсами між цехами й підрозділами підприємства з метою їхньої економії і раціональних витрат на робочих місцях;
- точний розрахунок з субабонентами підприємства за енергоспоживання з метою правильного розподілу енерговитрат.

Для вирішення зазначених завдань і досягнення відповідних цілей енергообліку, програмно - апаратні засоби децентралізованої АСКОЕ повинні забезпечувати виконання ряду функцій, як на середньому, так і на верхньому рівні. Функції систем середнього рівня, як правило, жорстко запрограмовані в заводських умовах і не підлягають зміні в процесі експлуатації. Ці функції виражаються в переліку штатних параметрів енергообліку, що при всій їхній обумовленості чинними правилами енергообліку є специфічними для системи кожного типу і залежать від досвіду, знань і системних подань розроблювача і виготовлювача систем. Тому, вибір того або іншого типу систем енергообліку для конкретного підприємства, необхідно проводити не тільки за структурними, але і за функціональними характеристиками систем.

Усю сукупність функцій систем середнього й верхнього рівня АСКОЕ можна класифікувати за наступними групами функцій:

- формування нормативно-довідкової бази енергообліку підприємства за кожним місцем і структурою обліку, тарифами, зонами, змінами, апаратними і програмними засобами АСКОЕ;

- збір в автоматичному (за заданими періодами часу) і ручному (за запитом оператора) режимах штатних параметрів кожної системи децентралізованої АСКОЕ за кожному місцю і/або структурі обліку;

- нагромадження даних енергообліку в бази даних АСКОЕ в персональному комп'ютері за кожній точці обліку з заданою тимчасовою дискретністю на необхідну ретроспективу;

- обробка накопичених значень енергообліку відповідно до діючих тарифів, схемою енергопостачання і структурою обліку підприємства;

- відображення вимірювальної і розрахункової інформації енергообліку в вигляді комплексу графіків, таблиць і відомостей на моніторі комп'ютера;

- документування вимірювальної і розрахункової інформації енергообліку в вигляді графіків, таблиць і відомостей на принтері;

- сигнали про позаштатні ситуації;

- прогнозування навантаження;

- автодіагностика АСКОЕ з аналізом вхідної інформації від первинних приладів обліку нижнього рівня АСКОЕ, сигналів про перебої і відмови систем і каналів зв'язку.

В якості критерію ефективності АСКОЕ для енергопостачальних підприємств, що генерують електричну енергію, можна прийняти одержання достовірного балансу виробництва, розподілу і споживання електричної потужності.

Робота енергетичної області в умовах функціонування енергоринка висуває підвищені вимоги до системи обліку, а саме, до рівня її автоматизації, точності, надійності і цілісності.

Точність і вірогідність системи обліку, в першу чергу, визначається засобами застосовуваної інформаційно - вимірювальної техніки, а також принципами її використання.

Основними показниками, що характеризують ефективність використання інформаційно - вимірювальної техніки в системі обліку, є:

- точність подання вимірювальної інформації;

- вірогідність подання вимірювальної інформації. На додаток до класичного підходу і стосовно до розглянутого об'єкта процес одержання достовірної інформації повинен бути автоматизований і може варіюватися від реєстрації даних з лічильників електроенергії протягом усього часу обліку до повністю автоматизованого процесу реєстрації цих даних з їхнім повним дублюванням і обов'язковою верифікацією;

- одночасність подання вимірювальної інформації. Під одночасністю подання вимірювальної інформації мається на увазі синхронність виконання вимірів в точках обліку, порушення якої приводить до виникнення погрішності розсинхронізації, що впливає на результати виміру.

Зазначені показники визначаються в системі обліку принципами організації вимірів, якістю систем обліку й зв'язку.

Система обліку, що задовольняє цим вимогам, дозволяє вирішувати головні завдання:

- забезпечення точною, достовірною і надійною інформацією комерційних розрахунків на ринку електроенергії;
- постійний контроль виконання договірних зобов'язань між суб'єктами ринку електроенергії;
- аналіз і контроль внутрішнього балансу суб'єктів енергоринку.

Слід зазначити, що в теперішній час є велике число АСКОЕ різного масштабу, накопичений значний досвід їхньої експлуатації, тому для виявлення достоїнств і недоліків АСКОЕ, а також тенденцій їхнього розвитку, доцільно розглянути найбільш типові з них.

ЛЕКЦІЯ 9

СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЗБОРУ І ОБЛІКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Вимірювально-обчислювальні комплекси (ВОК) для обліку електроенергії «Метроніка» підвищеної точності призначені для вимірів і обліку електричної енергії і потужності, а також автоматичного збору, накопичування, зберігання, обробки і відображення отриманої інформації.

Основне призначення комплексів - високоточний комерційний облік витрат електроенергії за фіксовані інтервали часу на енергоспоживаючих і енергозабезпечуючих підприємствах.

Автоматизована система комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) ВОК «Метроніка» поставлялася підприємством АББ ВЕВ Метроніка з 1995 року. В перших поставках система містила в собі лічильники електричної енергії АЛЬФА, комплекс технічних засобів для передачі даних від лічильника на комп'ютери збору даних цифровими і телефонними каналами зв'язку (мультиплексори-розширювачі MSU -12 і адаптери АББ для читання даних з лічильників Альфа, а також модеми).

Програмне забезпечення містило в собі базове програмне забезпечення (програми EMFPLUS і ALPHALITE), розроблене для середовища MS DOS. З його допомогою можна було програмувати і зчитувати інформацію про енергоспоживання і дані графіка навантаження з лічильників АЛЬФА як для підприємств Енергосистем, так і для промислового споживача.

На той період лічильники АЛЬФА і система АСКОЕ ВОК «Метроніка» була значним кроком уперед на шляху впровадження передових технологій комерційного обліку електричної енергії на підприємствах Росії та інших країн СНД.

Однак з часом стало очевидним, що можливості EMFPLUS трохи обмежені. І в 1995 році виникла концепція розробки комплексу технічних і програмних засобів з функціональними можливостями, відсутніми в програмі EMFPLUS.

Нове програмне забезпечення повинне було включити в себе наступні функціональні можливості:

- можливість підсумувати показання електричної енергії декількох лічильників;
- можливість знаходити об'єднаний максимум потужності групи лічильників в встановлені годинники фіксації максимумів потужності;
- можливість організації опитувань лічильників за різними схемами залежно від специфіки підприємств;
- для підприємств з лічильниками, розкиданими на великій території при відсутності гарних каналів зв'язку було потрібно організувати збір даних через оптичний порт;
- для підприємств з лічильниками, компактно розташованими на невеликій території (від декількох десятків метрів до кілометра), - збір даних безпосередньо через мультиплексори MSU -12 і МПР -16;
- для підприємств з лічильниками, розташованих на значних відстанях, але з якісними каналами зв'язку здійснюють збір даних телефонними каналами, зв'язком через модеми, а також з використанням радіо й ВЧ-зв'язку;
- можливість поступового нарощування систем (спочатку купують лічильники АЛЬФА, потім устаткування для зчитування лічильників);
- система АСКОЕ повинна бути простою в установці й експлуатації;
- можливість споживачам систем самостійно (без допомоги розроблювачів системи) установлювати і конфігурувати програмно - технічні засоби АСКОЕ, з подальшим поступовим нарощуванням можливостей системи;
- система АСКОЕ повинна бути недорогою.

Ринкові відносини, що складають в економіці, знайшли відбиття в формулюванні основної мети нової розробки - програмне забезпечення Альфамет, що задовольняє поставленим вимогам, повинне сприяти збільшенню продажів лічильників АЛЬФА. В рамках вирішення цього завдання і був розроблений варіант малої АСКОЕ ВОК «Метроніка» - Альфамет, розроблені нові технічні засоби (мультиплексор МПР-16, інтерфейс RS 422/485 для лічильника АЛЬФА) і програмне забезпечення Альфамет. Перший варіант програми Альфамет 2.01 був поставлений споживачам 11 січня 1996 року.

В АСКОЕ попереднього покоління пристрої збору даних (ПЗД) або пристрої збору й передачі даних (ПЗПД), побудованих на базі імпульсних лічильників, при втраті даних у системі відновити інформацію неможливо. Тому в основу концепції створення АСКОЕ Альфамет було закладено два основних принципи: використання переваг, обумовлених технічними характеристиками лічильників АЛЬФА і можливість повного контролю даних, отриманих з лічильників.

Оскільки АСКОЕ Альфамет будується на базі лічильників АЛЬФА, що не можуть втратити інформацію, то в випадку втрати даних або перекручування інформації в базі даних внаслідок будь-якого збою або

спроби несанкціонованого доступу, дані завжди можуть бути відновлені з лічильника повторним зчитуванням. Крім того, завжди існує можливість повного контролю з боку організацій Енергозбуту. Для цього необов'язково звертатися до бази даних АСКОЕ підприємства: лічильник АЛЬФА в будь-який момент може бути зчитаний на глибину зберігання даних і в будь-який момент часу може бути отримана достовірна інформація.

Альфамет 2.19 забезпечує вимір наступних параметрів в рамках вирішення завдань обліку енергоспоживання на підприємстві:

- споживання активної і реактивної енергії за задані часові інтервали за окремих лічильниках, заданим групам лічильників і підприємству в цілому з обліком багатотарифності;
- середні (півгодинні) значення активної потужності (навантаження) й середній (півгодинний) максимум активної потужності (навантаження) в години ранкового й вечірнього максимумів навантаження по окремих лічильниках, заданим групам лічильників і підприємству в цілому;
- здійснює функції побудови графіків півгодинних навантажень, необхідних для організації раціонального енергоспоживання підприємства.

Для захисту метрологічних характеристик ІВК Метроника - Альфамет 2.19 від несанкціонованих вимірів (корегувань) передбачений багатоступінчастий доступ до поточних даних і параметрів настроювання системи (механічні пломби, електронні ключі, індивідуальні паролі і програмні засоби для захисту файлів і бази даних).

Можливі способи організації збору даних з лічильників АЛЬФА з використанням радіо, ВЧ, телефонного зв'язку, опитування лічильників прямо через мультіплексор і оптичний порт представлені на рис. 29.

Підсистема збору дані програми Альфамет 2.19 будується як дворівнева система, що складається з об'єктів (наприклад, підстанцій) і приписаних до них лічильників. Зібрана з лічильників АЛЬФА інформація передається на комп'ютер збору дані підприємства і зберігається в його базі даних. Ці дані можна переглянути за допомогою вбудованих засобів Альфамет, вивести на друк у вигляді звітів, формованих засобами генерації звітів Альфамет, або передати на файл-сервер, звідки вони можуть бути доступні іншим службам підприємства - замовника (керівництву, відділу головного енергетика, бухгалтерії та ін.).

Інформація, яка зчитується з лічильників, доступна також для організацій типу АТ «Енергозбут», які можуть зчитувати її як прямо з лічильників, так і з комп'ютера збору даних підприємства, використовуючи канали радіозв'язку, ВЧ - зв'язку, телефонного зв'язку або Notebook.

Програма Альфамет 2.19 прямо не підтримує зв'язок з об'єктами верхнього рівня (АТ «Енергозбут»), але це можна організувати за допомогою технічних засобів, наявних в споживача.

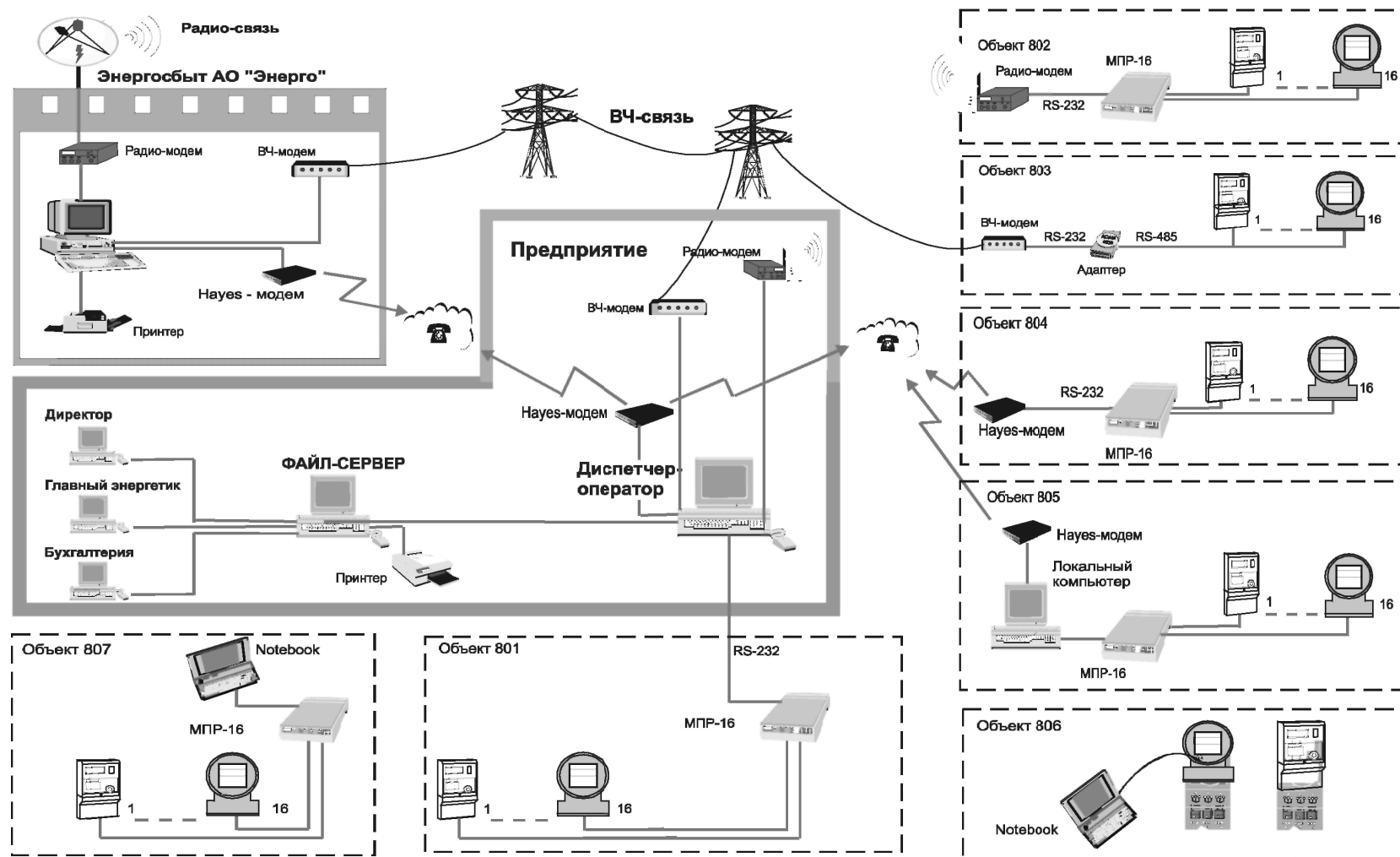


Рисунок 29 – Архитектура малой АСКУЭ на базе программы АльфаМет

Програма Альфамет дозволяє одержувати базові звіти, що включають в себе витрати електроенергії і визначення максимумів потужності на заданих часових інтервалах, для будь-якого лічильника, об'єкта - підстанції, а також для спеціальних груп, що називаються підсумовуючими каналами. Підсумовуючі канали можуть складатися з лічильників, приписаних до кожного з об'єктів, об'єктів і/або підсумовуючих каналів більш низького рівня ієрархії. В підсумовуючому каналі можна одержувати не тільки суму показань будь-яких лічильників, об'єктів і більше простих (за ієрархії) каналів, але і задавати прості арифметичні вираження (суму і різницю показань на цих об'єктах з множенням на константи). Цей підхід дозволяє одержувати багаторівневі звіти (наприклад, на обраних підприємствах невеликого міста або району; на підстанціях або обраних групах підприємства; за окремих лічильниках) і одержувати баланс електроенергії в обраних групах.

У програмі існує можливість визначати тарифні зони й зони піків потужності, за яких повинні бути отримані відповідні звіти. Опитування лічильників здійснюється відповідно до вимог, встановлених на підприємстві (звичайно один раз на добу, один або кілька разів на місяць). Програма Альфамет за профілем навантаження, одержаного з лічильників, сформує звіт відповідно до закладеного в неї форми.

Практичне використання того або іншого варіанта організації системи визначається технічними можливостями споживачів, а також специфікою завдань, поставлених перед споживачами. На практиці з усіх варіантів організації системи АСКОЕ на підприємстві найбільш часто застосовують наступні, так звані типові варіанти:

1. Організація збору даних з лічильників АЛЬФА прямо через оптичний порт (рис. 29 Об'єкт 806).
2. Організація збору даних з лічильників АЛЬФА прямо через мультиплексор (рис. 29 Об'єкт 801).
3. Організація збору даних з лічильників АЛЬФА з використанням телефонного зв'язку через модем (рис. 29 - Об'єкт 804).
4. Організація збору даних з лічильників АЛЬФА з використанням ВЧ - зв'язку через цифрові комплекси ETL500 (рис. 29 - Об'єкт 803).

Вимірювальні канали системи АСКОЕ на базі програми Альфамет можуть бути сформовані шляхом з'єднання наступних технічних засобів:

- лічильників електроенергії АЛЬФА, Євроальфа й АЛЬФА Плюс;
- мультиплексорів - розширників сімейства МПР -16;
- комп'ютерів типу IBM PC;
- модемів;
- радіомодемів;
- цифрових комплексів ETL500;
- адаптерів АББ;
- оптичних пристроїв UNICOM PROBE (Євроуником).

Можливість використання досить простих (не інтелектуальних) мультиплексорів - розширників забезпечується завдяки наявності в лічильників сімейства АЛЬФА протоколу установки зв'язку з зовнішнім пристроєм. Усі

лічильники підключають до загальних шин МПР і прослуховують лінію. На зв'язок виходить тільки той лічильник, що розпізнав свій код запиту. Такий підхід зводить функції мультиплексора до функцій пристрою, що збільшує кількість лічильників, які приєднують до нього, для подальшої передачі інформації через інтерфейс RS232 або RS422/485.

Мікропроцесорні лічильники електроенергії можуть бути пов'язані з мультиплексором за одному з цифрових інтерфейсів - «Струмова петля» або RS422/485. Застосування цифрових інтерфейсів дозволяє найбільше повно реалізувати з робочого місця оператора через існуючі канали зв'язку, функціональні можливості лічильника.

Необхідність розробки систем АСКОЕ, що базують на підході «інтелектуальний лічильник і неінтелектуальний концентратор», була викликана в першу чергу потребою створення недорогих комерційних систем обліку електроенергії, що володіють високою надійністю роботи, розширеними функціональними можливостями і високими споживчими якостями.

16-канальний мультиплексор - розширювач МПР-16-2(М) призначений для створення систем АСКОЕ на базі лічильників електроенергії сімейства АЛЬФА і перетворення рівнів сигналів різних інтерфейсів і може встановлюватися на комунальних і промислових об'єктах.

Мультиплексор містить:

- перетворювач сигналів інтерфейсу RS232 в сигнали інтерфейсів - «Струмова петля» й RS422/485 і назад з гальванічною розв'язкою;
- перетворювач сигналів інтерфейсу RS422/485 в сигнали інтерфейсів - «Струмова петля» і RS422/485 і назад з гальванічною розв'язкою.

Кожен МПР дозволяє підключати на загальні шини «запис/читання» до 16 лічильників сімейства АЛЬФА через інтерфейс «Струмова петля», і поєднувати до 16 мультиплексорів через інтерфейс RS 422/485.

Передачу інформації від лічильників на персональний комп'ютер можна здійснювати по інтерфейсу RS232 від МПР-16-2 (М) через нуль - модемний кабель, на відстань до 15 м., або по інтерфейсу RS422/485 на відстань не більше 1,2 км.

Передачу інформації від лічильників на відстані понад 1,2 км виконують через телефонний модем, що підключається до контактів інтерфейсу RS232 МПР-16-2(М), причому використовують тільки один модем на всю об'єднану групу мультиплексорів.

Одночасна присутність ліній зв'язку всіх лічильників на загальних шинах збільшує ефект впливу перешкод на якість прийому або передачі інформації лічильник - мультиплексор, що в ряді випадків робить практично неможливим обмін інформацією між цими пристроями. Для зменшення впливу різних перешкод на канали зв'язку в МПР-16-2(М) введена функція поканальної комутації, що забезпечує підключення в цей момент часу до загальних шин мультиплексора тільки одного опитуваного лічильника зі своїми лініями зв'язку.

Конструктивна відмінність МПР-16-2(М) від попередніх модифікацій МПР-16 полягає в наявності додаткової плати з мікроконтролером (РК), що і

забезпечує комутацію каналів мультиплексора. Технічні характеристики МПР-16-2(М) представлені в табл. 4.

Таблиця 4 - Технічні характеристики МПР-16-2(М)

| Найменування величини | Значення |
|---|--------------------------------------|
| Кількість лічильників, що підключають, по інтерфейсу «струмова петля» | до 16 |
| Кількість лічильників, що підключають, по RS422/ 485 (рознімання X2) | до 16 |
| Кількість мультиплексорів, що каскадно підключаються в систему АСКОВЕ | до 16 |
| Кількість інтерфейсів RS232 | 1 |
| Кількість портів інтерфейсу RS422/485 | 2 |
| Вид лінії зв'язку для інтерфейсу «струмова петля» | 4 – х провідна |
| Вид лінії зв'язку по інтерфейсу RS422/485 | 2 - х провідна або 4 - х провідна |
| Максимальне видалення лічильників від мультиплексора, км | 0,5 |
| Можливість підключення локального комп'ютера | є |
| Максимальне видалення локального комп'ютера від мультиплексора | 1,2 км (RS422/485) 15 м (RS232) |
| Можливість підключення модему | є |
| Напруга живлення (однофазне), В | 220В \pm 20% |
| Частота мережі, Гц | 50 \pm 3 |
| Споживана потужність, ВА не більше | 10 |
| Робочий діапазон температур, °С | від – 10 до + 50 |
| Вологість (не конденсується) % | 0 – 95 |
| Габаритні розміри, мм. | 200 x 112 x 50 |
| Маса, кг не більше | 2,0 |

Мультиплексор складається з наступних функціональних блоків:

- вузол інтерфейсу RS232;
- вузол інтерфейсу «струмова петля»;
- 2 канали інтерфейсу RS422/485;
- блок по каналній комутації (РК);
- ключі конфігурації SW1(плата МПР); П1 і П2 (плата РК);
- джерело живлення.

Сигнали RS232 через рознімання X4 надходять на драйвер вузла інтерфейсу RS232 і далі через елементи гальванічної розв'язки й ключі конфігурації подаються на 16-канальний вузол інтерфейсу ІРПС і блок поканальної комутації (РК).

Вузол інтерфейсу «струмова петля» (рознімання X5, X6) містить 16 ідентичних каналів, кожний з яких містить в собі джерела струму приймача і передавача. Всі канали приймачів інтерфейсу поєднують в загальну шину «читання», а канали передавачів в загальну шину «запис».

Два канали інтерфейсу RS422/485 містять в собі драйвери рівня, елементи гальванічної розв'язки і вузол арбітражу потоку даних. Канал інтерфейсу «slave» (рознімання X2) призначений для підключення лічильників або мультиплексорів (в випадку об'єднання декількох мультиплексорів каскадом в одну групу). Другий канал інтерфейсу «host» (рознімання X3) призначений для підключення до пристрою збору даних або об'єднання декількох «ведених» мультиплексорів в одну групу при паралельній схемі з'єднань.

Блок РК здійснює функцію поділу каналів, він реалізований на базі мікроконтролера.

Джерело живлення (ДЖ) мультиплексора складається з трансформатора напруги, випрямлячів і параметричних стабілізаторів. ДЖ здійснює живлення інтерфейсів і внутрішньої схеми МПР п'ятьома гальванічно розв'язаними каналами.

Мультиплексор складається з основної електронної плати, додаткової електронної плати (плати РК) і пластмасового корпусу з кріпильними вушками.

На основній платі розміщені:

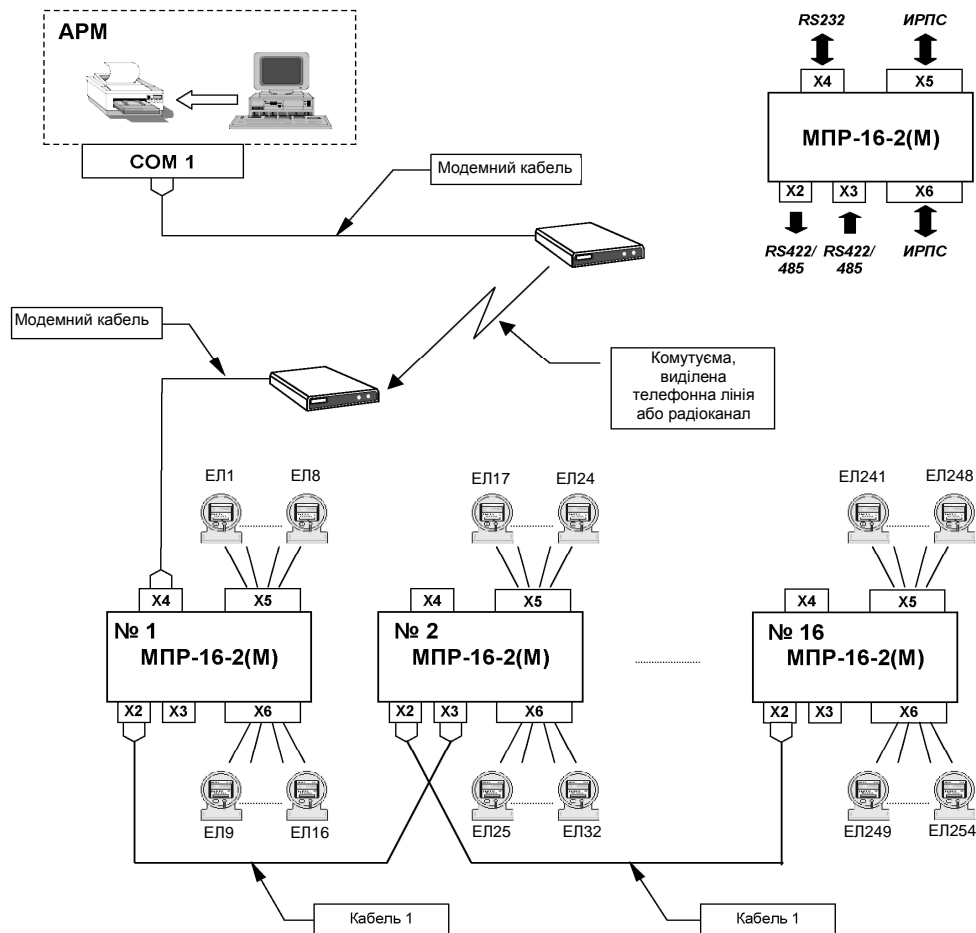
- джерело живлення мультиплексора з клемником для підключення мережі 50 Гц, 220 В (рознімання X1) і світлодіодом індикації наявності живлення;
- схеми інтерфейсів «струмова петля» RS232 і RS422/485 з розніманнями серії DB;
- ключі конфігурації SW1;
- спеціальне рознімання для підключення плати РК.

Електронна плата мультиплексора поміщена в прямокутний пластиковий корпус, виконаний з ударо- і термохімічно- стійкої пластмаси (рис. 30). Корпус має кришку, підставку й спеціальні вушка кріплення його до площини. Всі деталі корпусу з'єднуються між собою гвинтами - саморізами.



Рис. 30 - Загальний вид мультиплексора-розширника МПР-16-2(М)

Приклад структурної схеми підключення МПР-16-2(М) наведено на рис. 31.



АРМ – автоматизоване робоче місце; COM1 – послідовний порт ЕОМ; ЕЛ – електролічильник Альфа, АльфаПлюс або ЄвроАльфа; МПР16-2М – мультиплексор; X2...X6 – роз'єми мультиплексора

Рис. 31 - Структурна схема підключення мультиплексора

Незважаючи на безліч переваг, дана система обліку електроенергії страждає локальністю, оскільки орієнтована тільки на підприємства з невеликою кількістю об'єктів і каналів.

Удосконалювання системи обліку електроенергії Альфамет можливе шляхом модернізації апаратно - програмного забезпечення з метою забезпечення можливості застосування системи для різних видів споживачів електроенергії, а також об'єднання цих споживачів і створення єдиного вузла керування в межах єдиної енергосистеми країни.

Наступною системою обліку компанії Ельстер Метроніка стала цифрова АСКОВЕ з розподіленою обробкою Альфа СМАРТ.

АСКОЕ Альфа СМАРТ призначена для оперативного контролю споживання електроенергії і потужності безпосередньо на об'єкті і облік споживання електроенергії і потужності в розподіленій енергосистемі.

Системне вирішення АСКОВ Альфа СМАРТ у вигляді ієрархічної системи з розподіленою обробкою дозволяє:

- збільшити надійність системи;
- збільшити продуктивність системи;
- знизити вимоги до пропускної здатності каналів зв'язку;
- зменшити вартість системи в порівнянні з іншими системними рішеннями.

Основними елементами системи АСКОВ Альфа СМАРТ є:

- мікропроцесорні лічильники електроенергії серії АЛЬФА, Євро-альфа та ін.;
- спеціалізовані ПЗПД серії RTU-300, розроблені на основі мережних промислових контролерів SMART, IUC і контролерів стандарту VME;
- канали збору даних з лічильників, модеми, мультиплексори та ін.;
- програмне забезпечення верхнього рівня під Windows 95, NT.

Структурна схема системи АСКОВ Альфа СМАРТ представлена на рис. 32. Пристрої збору, обробки і передачі даних (ПЗПД) серії RTU-300 призначені для збору, обробки, зберігання даних, зібраних з лічильників електроенергії і передачі їх на верхній рівень. Вони призначені для роботи в ієрархічних системах комерційного і технічного обліку енергії і потужності (АСКОЕ) з розподіленою обробкою.

На базі ПЗПД будують локальні (об'єктові) системи, які є одним з основних компонентів систем АСКОВ.

У сімейство ПЗПД входять три серії пристроїв RTU-300, RTU-310, RTU-320.

Усі модифікації RTU можуть поставлятися для роботи як в звичайному температурному діапазоні (0 – +75°C), так і для роботи при температурі від – 40 до +75°C .

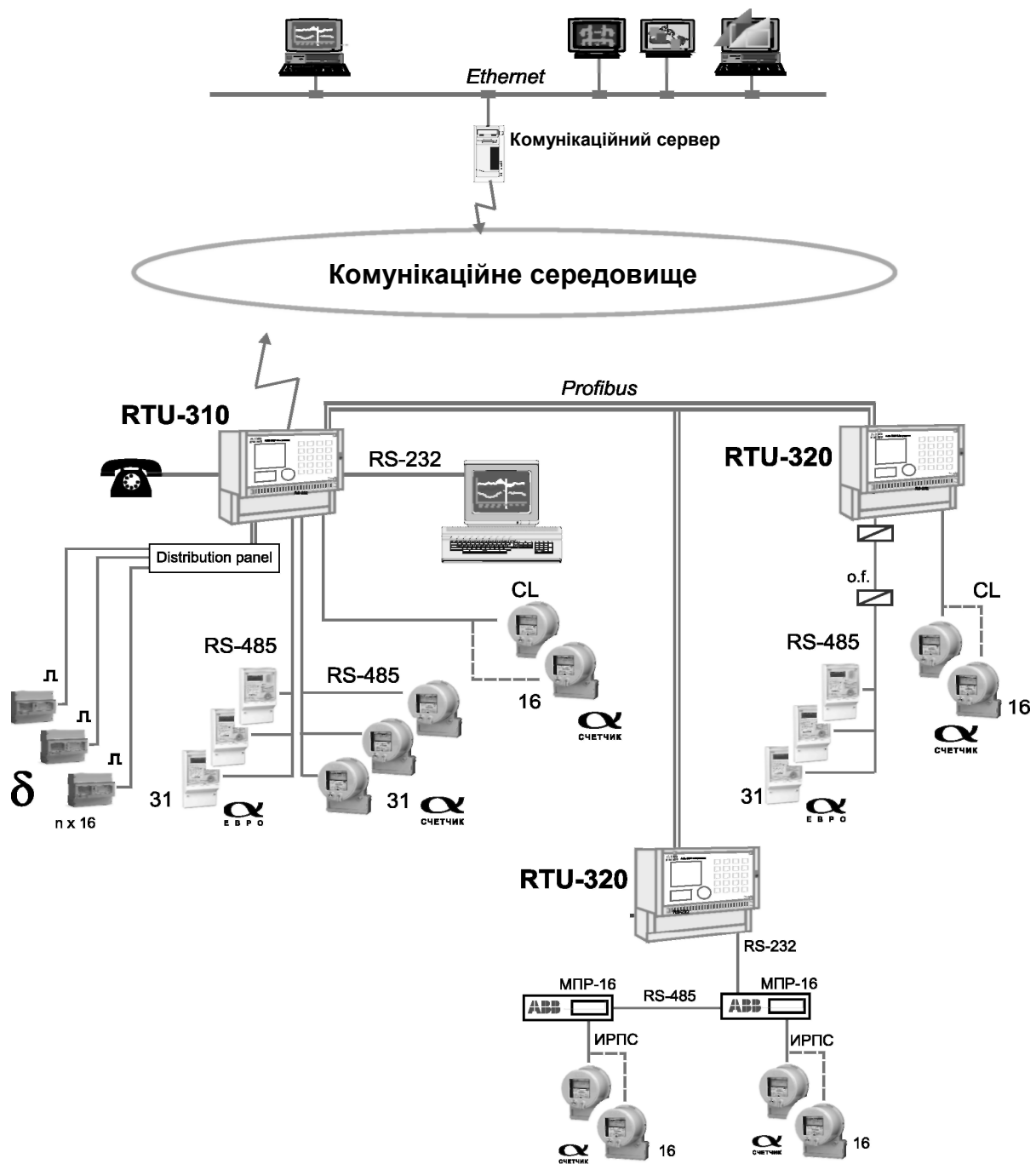


Рис. 32 - Структурна схема системи АСКОЕ Альфа СМАРТ

Загальними компонентами для всіх типів ПЗПД є:

- система корпусів із захистом IP65 (або варіант шафової конструкції);
- плата керування з рідкокристалічним дисплеєм, клавіатурою і оптопортом;
- крос-блок для введення кабелів;
- джерело живлення для імпульсних прийомо-передавачів лічильників електроенергії;
- модем (для шафової конструкції).

ПЗПД відрізняють типом контролерів і можуть нарощуватися, як за рахунок переходу від однієї серії ПЗПД до іншої, так і шляхом ввімкнення додаткових модулів в контролери.

Всі контролери працюють під операційною системою реального часу OS-9 і мають єдине прикладне програмне забезпечення. Збір даних здійснюється цифровими каналами з лічильників типу АЛЬФА і Євроальфа («струмова петля», RS232 і RS422/485) і імпульсним каналам з лічильників, що задовольняють типовим технічним вимогам до засобів автоматизації і обліку електроенергії і потужності для АСКОЕ енергосистем.

Основні функції ПЗПД RTU-300:

1. Збір з лічильників і датчиків первинних вимірів.
2. Обробка первинних вимірів.
3. Ведення архівів.
4. Контроль працездатності локальної системи.
5. Комунікації з вищестоящим і локальним рівнями.
6. Захист від несанкціонованого доступу.
7. Налаштування (конфігурування) під конкретний об'єкт.
8. Транспортний режим роботи.

Зовнішній вигляд ПЗПД RTU-320 представлено на рис. 33.



Рис. 33 - Пристрій збору і передачі даних RTU -320

Основні завдання, розв'язувані ПЗПД RTU-300:

- збір вимірів і сервісних даних з лічильників Альфа і Євро -АЛЬФА;
- виявлення й підрахунок імпульсів з лічильників електроенергії з метою розрахунку середніх потужностей і енергій;
- розрахунок іменованих фізичних величин по окремих і групових каналах виміру;
- ведення архівів вимірюваних величин відповідно до типових вимог щодо систем АСКОЕ;

- розрахунок двох графіків навантажень з двома різними інтервалами усереднення (наприклад: 1 хв. і 30 хв.), що використовують з метою комерційного обліку і технічного обліку в сполученні з комерційним керуванням;

- пошук максимальних потужностей (включаючи групові максимуми) на заданих тимчасових інтервалах;

- багатотарифний облік енергії і потужності (до 48 тарифів, 48 тарифних зон);

- ведення календаря з чотирма сезонами й чотирма типами днів тижня;

- підтримка єдиного системного часу з заданою точністю;

- порівняння вимірюваних величин з заданими допусками і формування відповідних повідомлень на верхній рівень, а при необхідності видача керуючих впливів;

- розрахунок "балансу" об'єкта;

- підтримка локальної мережі (Ethernet);

- передача даних за виділеним і комутованим лініям зв'язку (включаючи вузькосмугові канали телемеханіки 50 -100 Вод);

- перевірка працездатності лічильників, що виконують самотестування, або не роблять цього;

- вбудований контроль працездатності;

- ведення журналу подій;

- захист від несанкціонованого доступу на рівні програмного забезпечення і конструкції;

- режим настроювання (конфігурування) ПЗПД на об'єкт.

Технічні параметри серії пристроїв RTU-300, RTU-310, RTU-320 наведені в табл. 5.

Метрологічні характеристики при роботі з лічильниками Альфа і Євро - АЛЬФА за цифрових інтерфейсах визначають параметрами лічильників.

У 2000 році компанія АББ ВЕВ Метроніка випустила на ринок нову систему обліку електроенергії Альфа ЦЕНТР. Нова АСКОЕ заснована на системах ВОК Метроніка (Альфамет) і Альфа СМАРТ. АСКОЕ Альфа ЦЕНТР перебиває всі можливості попередніх систем і йде їм на заміну.

Програмний комплекс Альфа ЦЕНТР базується на принципах клієнт-серверної архітектури і працює в операційних системах Windows NT/2000, UNIX; використовує базу даних СУБД ORACLE.

Альфа ЦЕНТР призначені для виміру і обліку електричної енергії і потужності, а також автоматичного збору, обробки та зберігання даних з лічильників електроенергії і відображення отриманої інформації в зручному для аналізу вигляді.

Таблиця 5 - Основні технічні характеристики пристроїв RTU-300, RTU-310, RTU-320

| Найменування | RTU –320 | RTU –310 | RTU –300 |
|---|---|---|--|
| Тип процесора | M68302 і TIMSP430 | M68360 і TIMSP430 | M68040 (MC68060) і TIMSP430 |
| DRAM | 512 кб -1,5 MB | 1 –4 MB | 2 –32 MB |
| SRAM | 64 –256 кб | 256 к –2 MB | 1 –4 MB |
| FLASH | 1 –2 MB | 1 –2 MB | 2 –4 MB |
| Підтримка Ethernet | Немає | Так | Так |
| Підтримка Profibus | Немає/Так | Так | Так |
| RS –485 | Немає/Так (Profibus) | 4 (max) | 32 (може бути більше, якщо шафова конструкція) |
| RS –232 повномодемний | 1 | 4 (max) | 32 (більше, якщо шафа) |
| RS –232 "неповний" термінальний | 1(R _x ,T _x ,DTR, CTS,Gnd) | 2 (R _x ,T _x ,Gnd) | 2 (більше, якщо шафа) |
| DIN входи | 16 | 80 | 256 (більше, якщо шафа) |
| Частота опитування (вибирають з 2 ^x рядів) | 1, 3, 5 хв. 15, 30 хв. | 1, 3, 5 хв. 15, 30 хв. | 1, 3, 5 хв. 15, 30 хв. |
| Можливість одночасної роботи з різними частотами опитування | Так | Так | Так |
| Робоча температура (Розширений діапазон) | 0 – +70 °C –40 – +85 °C | 0 – +70 °C –40 – +85 °C | 0 – +70 °C –40 – +85 °C |
| Енергонезалежна пам'ять | Так | Так | Так |
| Сезони | 4(12) | 4(12) | 4(12) |
| Тарифи | до 48 | До 48 | до 48 |
| Маса | менш 5 кг | менш 8 кг | менш 9 кг |
| Габаритні розміри | 260 х 230 х 330 260х230х140 | 260 х 230 х 330 | 260 х 230 х 330 |

Програмні пакети серії Альфа ЦЕНТР (АЦ) дозволяють задовольнити потреби в автоматизації комерційного і технічного обліку електроенергії як споживачів з декількома лічильниками, так і розподілених підприємств з більшою кількістю об'єктів і користувачів. Усі варіанти програмного забезпечення повністю сумісні на рівні довідників і даних.

Альфа ЦЕНТР використовують для комерційного і технічного обліку електроенергії на електростанціях, підстанціях, промислових підприємствах і організаціях, що поставляють і споживають електричну енергію.

Альфа ЦЕНТР служить для створення систем АСКОЕ:

- в енергосистемах (на електростанціях, підстанціях, у розподільних мережах);
- на промислових підприємствах;
- на залізницях (на тягових підстанціях, вокзалах, у депо);
- в житлово - комунальному господарстві;
- в довільних організаційних структурах енергопостачальників і енергоспоживачів.

Система в паралельному режимі (одночасно) робить повністю автоматичні:

- збір даних з лічильників і контролерів через виділені і комутовані канали зв'язку;
- самодіагностику і діагностику компонентів нижнього рівня;
- проведення розрахунків;
- аналіз повноти даних і проведення дорозрахунків і дозбору відсутніх даних.

Альфа ЦЕНТР будують на базі центрів збору й обробки даних. Центри збору й обробки даних можуть поєднуватися в ієрархічні багаторівневі комплекси.

Центри збору й обробки даних поєднують технічні і програмні засоби, що дозволяють збирати необхідні дані комерційного обліку з:

- лічильників електроенергії серії АЛЬФА (АЛЬФА Плюс, Євроальфа, АЛЬФА А1000), об'єднаних або через мультиплексори-розширники МПР -16 (необов'язковий елемент) або через інтерфейси в різних комбінаціях з набору: RS -232, RS -485, RS -422, «струмова петля» (ІРПС);
- пристроїв збору й передачі даних (ПЗПД) (необов'язковий елемент) серії RTU -300, ПЗПД можуть бути зв'язані в мережу на основі інтерфейсу RS -485 (Ethernet) і забезпечують збір даних з лічильників з цифровим або імпульсним (телеметричним) виходом;
- інших комплексів апаратно - програмних засобів для обліку електроенергії.

Передача даних може бути здійснена як безпосередньо з ПЗПД або лічильників, так і іншими способами (наприклад, за лініях зв'язку з використанням модемів, радіомодемів, по обчислювальних мережах).

На кожному з центрів збору й обробки можуть бути сформовані розрахункові групи лічильників. Групи мають період дії і складаються з попередженням (заздалегідь).

Програмне забезпечення дозволяє формувати розрахункові групи з лічильників, установлених на різних об'єктах. Програмне забезпечення розрахункового сервера робить автоматичні розрахунки по групах лічильників з урахуванням повноти даних, що прийшли, і автоматичні дорозрахунки.

Для безпосереднього опитування окремих ПЗПД, або опитування лічильників, що підключені до одного мультиплексору (наприклад, в випадку ушкодження лінії зв'язку), передбачається використання переносного

портативного комп'ютера типу Notebook з наступним завантаженням даних у центр збору і обробки даних.

ИВК "Альфа ЦЕНТР" вирішує наступні завдання:

- вимір параметрів, зазначених в табл. 6;
- автоматичні розрахунки відповідно до описів розрахункових груп і відповідних їм описам тимчасових зон;
- ведення архівів за результатами розрахунків;
- діагностика повноти даних;
- підтримка єдиного системного часу з метою забезпечення синхронних вимірів;
- відстеження перевищення потужності заданих лімітів.

Таблиця 6 - Параметри, вимірювані ИВК "Альфа ЦЕНТР"

| Найменування параметра | Примітка |
|---|---|
| Показання лічильників | Розрахунок здійснюють по активній і реактивній енергії в двох напрямках |
| Середні потужності на інтервалі усереднення 1/3/5/10/15/30 хв. | Розрахунок здійснюють по активній і реактивній енергії в двох напрямках. При цьому з різних точок обліку можуть зніматися профілі з різним інтервалом усереднення, але комерційний інтервал устанавлюється єдиний на всю систему |
| Максимальна середня потужність на комерційному інтервалі з урахуванням тимчасових зон | Розрахунок здійснюють по розрахункових групах з розкладкою по часових зонах. Часові зони можуть призначатися з дискретністю до 1 хвилини. Варіантів розбивки доби на часові зони може бути не обмежена кількість (варіанти часових зон). Прив'язка варіантів часових зон здійснюється до розрахункових груп |
| Споживання активної і реактивної енергії за добу, місяць, рік | Розрахунок здійснюють по групах в цілому і з розкладкою по часових зонах |
| Індикація ряду параметрів якості електричної енергії | Для безпосереднього опитування лічильників АЛЬФА і Євроальфа (минаючи ПЗПД), без нормування точності: частота, фазні струми і напруги, фазні кути зсуву між струмами і напругою, фазна потужність |

Для забезпечення високого ступеня працездатності комплекс здійснює вбудований контроль працездатності і фіксує всі випадки несправності у власному журналі подій.

Для захисту вимірювальних даних і параметрів комплексу від несанкціонованих змін передбачена багаторівнева система захисту.

Усі кабелі, що приходять на лічильник від вимірювальних трансформаторів і сигнальні кабелі від лічильника, кросуються в відсіку лічильника, що пломбується.

Усі види прикладного ПЗ передбачають автоматичний рестарт після провалля - поновлення живлення.

В рамках системи виділяють 4 варіанти автоматизації об'єктів. Розглянемо два з них.

1. Об'єкт з лічильниками, об'єднаними по інтерфейсу RS485 (рис. 34). Лічильники об'єднані за інтерфейсу "струмова петля" на мультиплексор (типу МПР-16) або на загальну шину за RS 485. Між лічильниками і центром збору немає зв'язку.

Опитування виконують за допомогою програми, розміщеної у переносному комп'ютері, що формує файл результатів опитування. На сервері збору даних програмні модулі, що формують файл - завдання на опитування, завантажують інформацію в основну БД.

Синхронізація часу лічильників відбувається в процесі опитування переносного комп'ютера. Синхронізація часу комп'ютера виконується сервером БД у момент прийому файлів завдань на опитування лічильників.

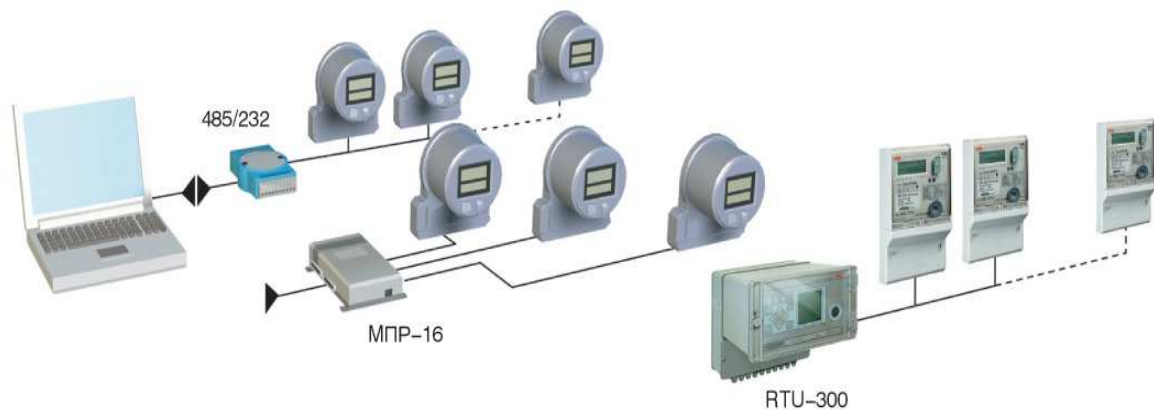


Рис. 34 - Перший варіант схеми автоматичного обліку

2. Вузол збору і обробки даних з лічильників за прямих лініях на базі комп'ютера (рис. 35). На локальному комп'ютері відбувається збір даних з заданим періодом. На ньому ж відбувається їхня обробка. Залежно від кількості користувачів, кількості лічильників і інтервалів їхнього профілю, кваліфікації користувачів, складності математичної обробки та ін. Локальна БД може функціонувати або під MS Access, або під СУБД ORACLE8.X.

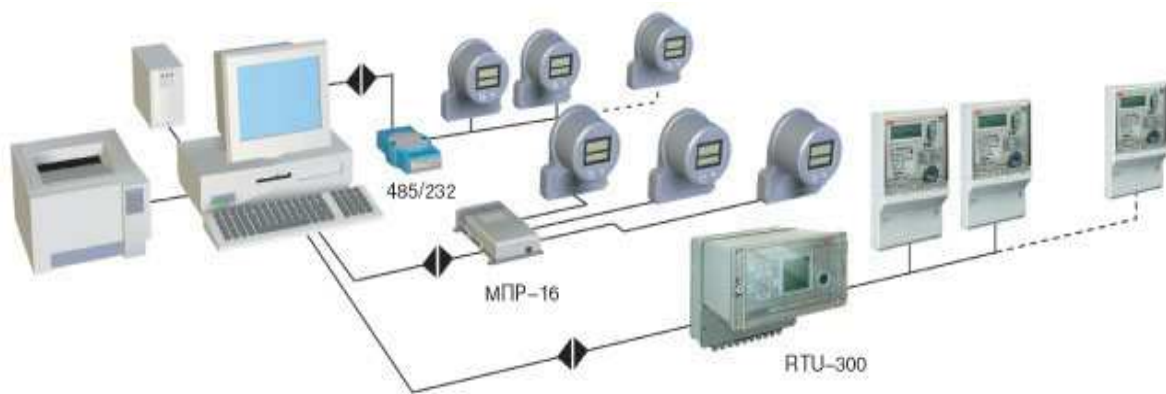


Рис. 35 - Другий варіант схеми автоматичного обліку

Збір даних в центральну БД відбувається періодично. Первинна інформація для центральної БД зчитується прямо з лічильників. Синхронізація часу на лічильниках здійснюється по годиннику або переносного, або локального комп'ютера.

Розглянемо досвід фірми Landis & Gyr (Швейцарія), яка давно і з успіхом використовує комплексний системний підхід до розробки і впровадження систем АСКОЕ. Пропоновані фірмою технічні рішення дозволяють побудувати систему АСКОЕ будь-якого рівня, починаючи від обліку міжсистемних перетоків за ПЛ надвисокої напруги і закінчуючи побутовими споживачами. Класична розробка компанії Landis & Gyr - система дистанційного обліку енергоресурсів DATAGYR C2000.

Система являє собою програмно - технічний комплекс засобів для дистанційного енергообліку, керування навантаженням і тарифами. Простота використання досягається за допомогою дружнього графічного інтерфейсу користувача. Всі функції системи обираються за допомогою меню, керованого мишею. Модульна побудова програмного забезпечення і потужна апаратна платформа становлять базу цієї перспективної системи. Система DATAGYR C2000 збирає дані з приладів обліку, передає їх каналами зв'язку в центральну станцію (ЦС) і зберігає в реляційній базі даних, а також обробляє дані і видає результат. В складних ієрархічних системах з багаторівневим обліком використовують кілька комп'ютерів, один з яких обирається головним - центральним сервером системи. Дані на об'єктах збираються за допомогою віддалених терміналів системи - транскодерів, що здійснюють також первинну обробку інформації і передачу її каналами зв'язку в ЦС, де виконуються:

- перевірка технічного стану лічильників, транскодерів, мережі передачі даних з видачею сигналів тривоги в випадку виникнення збоїв;
- математичні обчислення і статистичний аналіз, що дозволяють на основі показань лічильників вести розрахунки за перетікання енергії з іншими енергетичними комплексами, визначати усереднену потужність і споживання електроенергії, вести аналіз зібраних моделей, статистики споживання і прогнозів навантаження;
- вибір тієї або іншої тарифної програми.

Результати обробки інформації видають в табличній і графічній формах. Є гнучкі засоби формування звітів по групах споживачів і по системі в цілому для звітних інтервалів часу і різних інтеграційних періодів. Система видає також користувачеві інформацію про свій стан і команди на віддалені термінали. Відкритість системи дозволяє всі зібрані дані, так само як і результати обробки, передати обчислювальною мережею іншим користувачам (наприклад, в бухгалтерію, АСДУ і т.д.). Це реалізується шляхом використання мови структурованих запитів до бази даних SQL. В якості ЦС використовують альфа-станцію виробництва фірми DEC, що працює під керуванням 64-розрядної операційної системи Digital UNIX. Для запису і зберігання даних використовують реляційну базу даних ORACLE. Комплекс програмних засобів системи DATAGYR C2000 містить наступні основні блоки:

- блок конфігурування системи, що визначає користувачів системи і їхні паролі (передбачений різний рівень доступу до системи для різних типів користувачів), склад віддалених терміналів системи і їхніх параметрів, списки даних, лінії зв'язку з віддаленими терміналами (задаються тип і параметри), системні пристрої, яким будуть видаватися повідомлення, описуються інші елементи системи (приймач сигналів точного часу);

- блок контролю технічного стану системи і обробки сигналів тривоги з лічильників і транскодерів;

- планувальник, що визначає порядок виконуваних системою автоматичних дій, в тому числі збір даних, запис у базу даних, обробку, експорт і імпорт даних і складання звітів;

- блок формування тарифів;

- блок формування звітів і графіків;

- блок ведення журналу системних повідомлень;

- блок комунікацій за протоколом SCTM.

Система являє собою складний комплекс різних пристроїв, синхронно взаємодіючих один з одним під керуванням центрального сервера:

- центральні і регіональні станції;

- транскодери - віддалені термінали, зв'язані через канали зв'язки зі ЦС;

- лічильники, що передають інформацію в транскодер.

Регіональні і центральні станції (альфа - станції фірми DEC з потужним продуктивним 64-розрядним процесором і 64-розрядною операційною системою Digital UNIX) забезпечує істотне підвищення швидкості обробки графічної інформації й роботи з базою даних. Станції оснащують розширювачем портів з інтерфейсом SCSI, що дозволяє підключати до нього різноманітне периферійне устаткування (модеми для виділених ліній зв'язку, що комутуються, частотно-модульований канал, принтери, приймач сигналів точного часу).

Транскодери FAG і FBC - універсальні прилади, що служать для збору, обробки, зберігання і передачі даних з первинних приладів обліку - лічильників. Транскодери дозволяють мати від 16 до 144 каналів обліку залежно від набору вхідних модулів. Транскодер FAG зібраний на одному шасі і склада-

ється з різних зйомних модулів, з'єднаних між собою шиною даних. Набір використовуваних модулів визначається конкретними умовами застосування системи.

Пристрій може мати наступні модулі: до чотирьох вхідних (імпульсних або послідовних), частотно-модульованого каналу для передачі даних за виділених лініях у вузькій смузі частот, радіогодинника для одержання сигналів точного часу і синхронізації, запису даних про електроспоживання на чип-карту ємністю 4 Мб (строк зберігання до 999 днів). Збір даних з лічильників здійснюється як через імпульсні виходи, так і через послідовний інтерфейс RS-485, що забезпечує щохвилинне опитування оригінальних показань регістрів лічильників за протоколом STOM (Serial Transmission Original Metering).

Імпульсний вхідний модуль дозволяє обробляти до 20 імпульсних каналів обліку. Імпульси після вхідного контролю підсумуються, визначаються хвилинні значення електроенергії, при необхідності здійснюється підсумовування даних по окремих приладах обліку або інших обчислень, потім визначаються середні значення за інтеграційний період і дані записуються в циклічний буфер пам'яті.

Модуль послідовних входів має біля шести ліній, до кожної з яких можна підключити порядку восьми лічильників, обладнаних інтерфейсом RS-485, що передають оригінальні показання рахункових механізмів по протоколу STOM. Один послідовний модуль здатний обробляти до 36 регістрів лічильників.

Транскодер FAG посилає щохвилини команду на підключені лічильники, по якій показання «заморожуються» (фіксуються) і пересилаються у відповідні регістри лічильника. Потім ці регістри послідовно один за одним опитуються і показання передаються для подальшої обробки.

Цей принцип має переваги: при виникненні збоїв у лінії зв'язку з лічильників не потрібно корегувати показання транскодера (як це було б у випадку імпульсної передачі), оскільки після відновлення порушеного зв'язку транскодер продовжує працювати з оригінальними поточними показаннями лічильника. Крім того, істотно заощаджуються витрати праці на прокладання кабелів: для передачі даних 36 регістрів потрібно всього один кабель (дві кручені пари).

Синхронізація може здійснюватися трьома способами:

- від радіогодинника, що приймає сигнали точного часу;
- від внутрішніх годинників приладу, які можна установлювати вручну або від радіогодинника;
- за командою з ЦС.

Прилад дозволяє одночасно працювати з даними по трьох інтеграційних межах.

Пристрій може мати до чотирьох комунікаційних портів RS-232 для передачі даних в ЦС частотно-модульованим каналом або через модеми виділеними лініям зв'язку або тими, що комутуються. Для параметрування транскодера використовують сервісну програму, що функціонує на

звичайному портативному комп'ютері, який підключають до транскодеру через інтерфейс RS-232.

У системі DATAGYR C2000 використовують комбіновані електронні лічильники Z.B і Z.V/Z.V. Лічильники Z.B обладнані імпульсним виходом і виходом типу «струмова петля» (стандарт МЭК1107), вимірюють активну й реактивну енергію в двох напрямках з розбивкою по чотирьох квадрантах і усередненій максимальній потужності. Клас точності 0.5, 1.0, 2.0.

Вимірювальний елемент являє собою датчик Холу (використовується метод прямого виміру електромагнітного поля й потужності). Передбачено зберігання профілів навантаження в пам'яті лічильника протягом 200 днів (15-ти хвилинні значення) і робота з декількома тарифами. Лічильники підключають до імпульсного входу транскодера.

Лічильники Z.V/Z.V призначені для виміру більших значень електроенергії, мають клас точності 0,2s і 0,5s. Активну й реактивну енергії вимірюють у двох напрямках з розбивкою по чотирьох квадрантах. В лічильник Z.V додатково вимірює втрати активної і реактивної енергії, що дозволяє більш точно вести облік електроенергії.

В вимірювальних елементах реалізовано принцип широтно-частотної модуляції. Коректна робота лічильника забезпечується при наявності напруги хоча б на одній фазі. Основне живлення здійснюється безпосередньо від вторинної обмотки вимірювального трансформатора. Разом з тим передбачене резервне живлення, що дає можливість зберігати інформаційний зв'язок з лічильником навіть в випадку повного обриву в ланцюгах вимірювальних трансформаторів.

Основна відмінність лічильників Z.B від Z.V/Z.V полягає в наявності послідовного інтерфейсу RS-485, за яким здійснюється двосторонній обмін даними і командами між лічильником і транскодером відповідно до протоколу STOM. Наявність протоколу обміну на порядок підвищує надійність і точність передачі даних у порівнянні з традиційним імпульсним способом.

Додаткові можливості лічильників Z.V дозволяють здійснювати точні виміри миттєвих значень активної і реактивної потужності, використовувані для завдань керування АСДУ, що забезпечуються наявністю високочастотного імпульсного виходу I-45 з номінальною частотою 600 Гц у сполученні з перетворювачем «частота - струм» типу FGC6.1 (виробництва фірми Landis & Gyr).

Загальним для всіх лічильників фірми Landis & Gyr є наявність оптичного порту, через який за допомогою оптичної головки і персонального комп'ютера можна зчитувати дані і параметрувати прилад за допомогою сервісної програми.

В системі DATAGYR C2000 існують три шляхи обміну даними:

- між лічильниками і віддаленими терміналами (транскодерами);
- транскодерами і комп'ютером;
- комп'ютерами, що входять в цю систему.

Кожний з цих шляхів має свої специфічні особливості, що визначають його програмно - апаратну реалізацію.

Лічильник – транскодер. Дані передаються, як правило, по території підстанцій або електростанцій при наявності електромагнітних полів, що створюють сильні перешкоди для проходження сигналу. В цих умовах імпульсна передача (особливо якщо відстань між лічильником і транскодером велика) не завжди забезпечує необхідну надійність. При будь-якому збої в передачі імпульсів потрібне ручне узгодження даних лічильника і транскодера, тому потрібен постійний контроль з боку персоналу і періодичне звіряння показань лічильників і транскодерів.

Таким чином, фірма Landis & Gyr рекомендує в відповідальних випадках використовувати спільну передачу даних за протоколом STOM і оригінальних показань лічильників. Використання протоколу дозволяє мати двосторонній зв'язок з лічильником і використати його не тільки для передачі даних, але й для діагностики стану лічильників. Це дає можливість ідентифікувати на транскодері в буфері подій і потім передавати в ЦС інформацію про наступні події:

- збої в передачі даних (наприклад при виході з ладу лінії між лічильником і транскодером);
- втрати напруги на одній з фаз вимірювального трансформатора;
- втрати живлення (основного і резервного) на лічильнику;
- ручна зміна вмісту якогось з регістрів лічильника;
- зміна будь-якого параметра лічильника;
- робота лічильника з обхідною системою шин та ін.

Транскодер – комп'ютер. Обмін даними між транскодером і комп'ютером здійснюється за кожним з двох можливих протоколів:

- SCTM (Serial Coded Tele Metering) - розробка фірми DATAGYR C2000. Даний протокол використовують також і інші фірми. Він є оптимальним для періодичних опитувань віддалених терміналів (транскодерів) і передачі великих обсягів облікових даних, а також має високий клас вірогідності передачі даних - I 4;

- ІЕС 870-5-102 оптимальний для постійного збору даних, оскільки посилає по одній телеграмі на кожен інтеграційний період, і канал зв'язку використовують практично постійно.

Дані від віддалених терміналів в ЦС передаються як за виділеними, так і комутованими каналами зв'язку. Лінії зв'язку можуть бути будь-якої природи: оптоволокно, ВЧ - зв'язок за ЛЕП, радіозв'язок, телефонна мережа загального користування та ін.

У наслідок великої завантаженості каналів зв'язку (переговори диспетчерів) система C2000 дозволяє організовувати нагромадження інформації в віддалених терміналах і передачу її в ЦС в години малого завантаження (нічний час).

При наявності виділеного каналу з широкою смугою частот використовують високошвидкісні модеми. В деяких випадках для зв'язку між об'єктом і ЦС немає можливості виділяти окремі канали зв'язку, а тільки вузьку смугу частот. В такій ситуації фірма встановлює комунікаційне

встаткування FKI з модулем частотно-модульованого каналу WY-K101, що дозволяє працювати в обмеженому частотному діапазоні.

Комп'ютер – комп'ютер. В системі, що складається з декількох комп'ютерів, обмін даними організується засобами системи UNIX і програмного забезпечення DATAGYR C2000. При цьому, завдяки наявності механізмів експорту - імпорту файлів з баз даних окремих комп'ютерів, реалізується будь-яка багатоступінчаста ієрархічна структура керування даними. Міжмашинний обмін інформацією каналами зв'язку здійснюється за протоколом SLIP (Serial Line Internet Protocol).

Деякі великі українські виробники лічильників електричної енергії організували виробництво систем обліку, до них належить виробничо-комерційна фірма «ТЕЛЕКАРТ» (м. Одеса), що пропонує на ринку АСКОЕ комплекс технічних засобів «Енергія - ЕПЗ».

«Енергія - ЕПЗ» являє собою сукупність апаратних і програмних засобів, що забезпечують можливість створення систем багатотарифного обліку споживання електроенергії користувачами, її оплати з використанням сучасних електронних платіжних засобів, автоматизації взаєморозрахунків між споживачами електроенергії та енергопостачальними організаціями.

Область застосування - облік електричної енергії на промислових підприємствах і в комунально-побутовій сфері в умовах застосування диференційованих у часі тарифів на електричну енергію, в тому числі з застосуванням процедури передоплати (кредитування) електричної енергії за допомогою електронних пластикових карт.

Технічними засобами, використовуваними при побудові системи, є електронні багатофункціональні лічильники електричної енергії, термінал обслуговування споживачів, електронний платіжний засіб і пристрій зміни параметрів.

Залежно від конкретних умов застосування, архітектура системи може бути максимально простою - однорівневою для локальних систем з обмеженою кількістю споживачів, або більш складною - багаторівневою для регіональних систем, систем у межах енергопостачальної організації, тобто у випадках, коли кількість споживачів є значною і має місце необхідність централізованого оперативного контролю обліку споживання й оплати електроенергії.

Структуру локальної системи показано на рис. 36. Однорівнева локальна система реалізується з використанням мінімальної кількості апаратних і програмних засобів. У цьому випадку використовують наступні компоненти:

- лічильники електронні багатофункціональні;
- електронний платіжний засіб - електронна пластикова картка;
- термінал обслуговування споживачів.

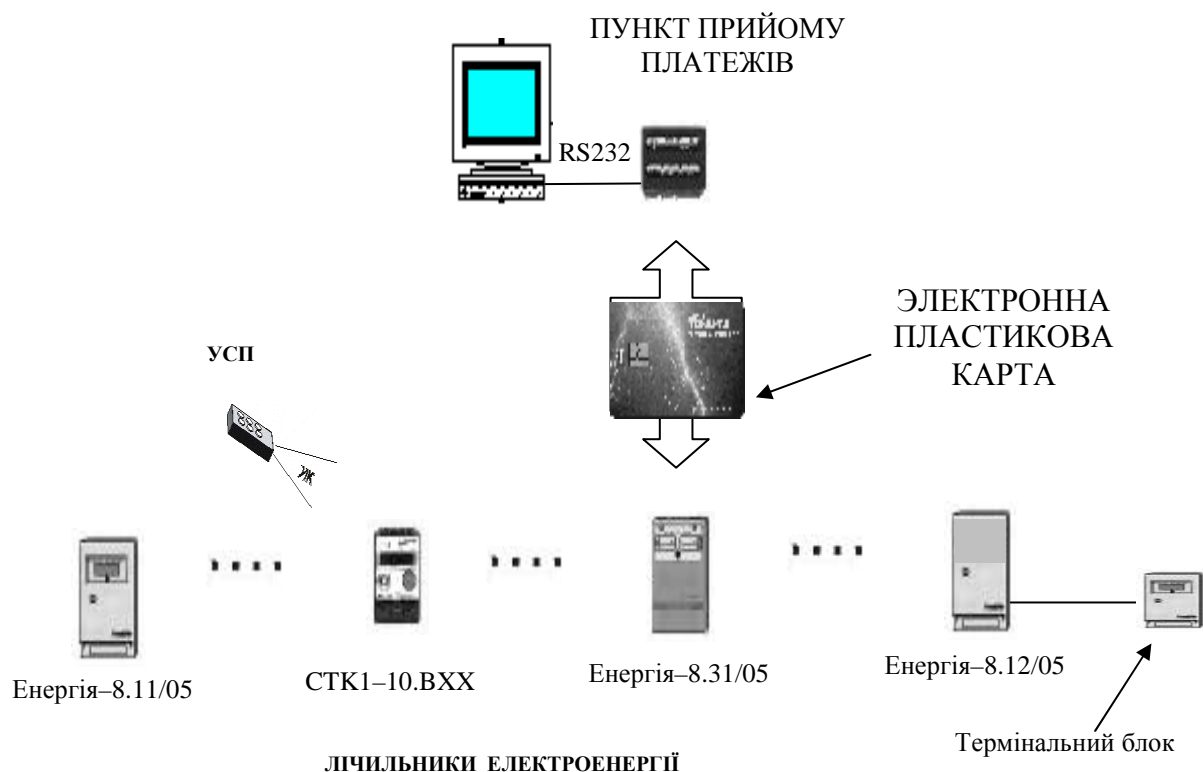


Рис. 36 – Структура локальної системи

Багаторівнева система є логічним розвитком локальних систем. Термінали обслуговування споживачів поєднують за ієрархічною схемою з розрахунковим центром. Для забезпечення зв'язку між ними використовують модеми, керовані з боку комп'ютера. Таким чином, при створенні багаторівневих систем використовують ті ж апаратні засоби, що й в однорівневій, а також додаткове програмне забезпечення для кожного рівня системи і телефонні канали зв'язку з використанням модему.

Структуру регіональної системи або повної системи енергопостачальної організації наведено на рис. 37.

Принцип роботи системи базується на можливостях електронних багатофункціональних лічильників «Енергія», що забезпечують можливість вимкнення і ввімкнення навантаження за допомогою керування контактором, включеним послідовно в ланцюг навантаження, а також на можливостях сучасних електронних платіжних засобів - електронних пластикових карток, у частині забезпечення можливості двонаправленого обміну інформацією. Використання електронної пластикової картки забезпечує двонаправлений обмін інформацією:

- з центра обслуговування користувачів у лічильник - інформація про суму оплати електроенергії;
- з лічильника в центр обслуговування користувачів - інформацію про споживання електроенергії (сумарна спожита енергія зростаючим підсумком, сумарна спожита енергія та енергія, спожита у кожній тарифній зоні за минулий і поточний місяць).

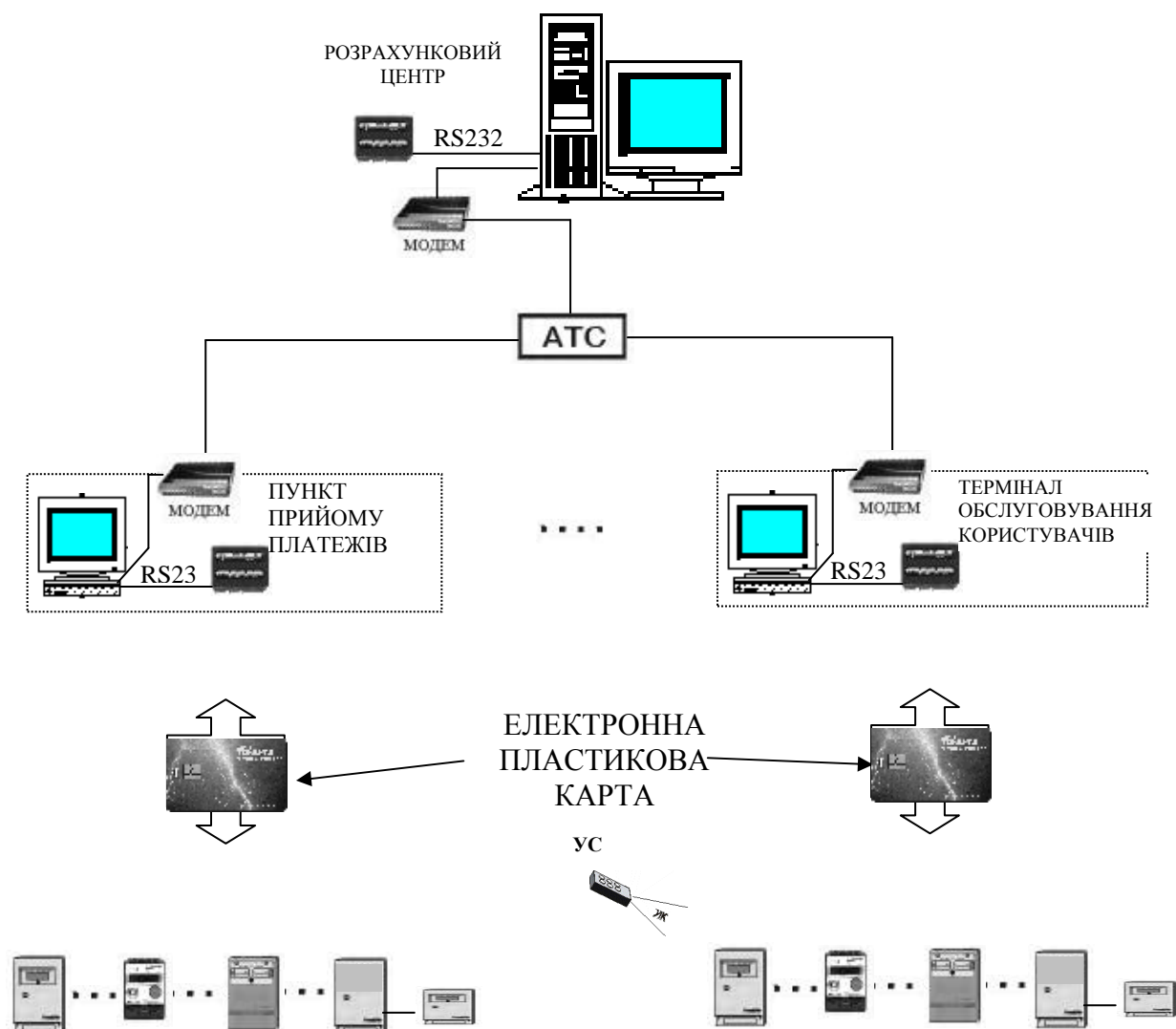


Рис. 37 – Структура регіональної системи

Лічильник може також бути запрограмований в режим обмеження спожитої потужності. Встановлюють два значення обмеження потужності: одне (максимальне) на випадок наявності оплати спожитої енергії; друге (наприклад, 100 - 200 Вт) на випадок відсутності оплати. У випадку, якщо спожита потужність перевищує запрограмоване значення, лічильник формує сигнал вимкнення навантаження. При цьому можливе регулювання споживання електроенергії у вихідні дні, святкові й нічний час.

Система припускає наступну схему взаємин користувача і енергопостачальної організації:

- користувач робить оплату електроенергії в пункті обслуговування (при цьому на персональну електронну карту користувача записується відповідна інформація, одночасно відбувається запис цих даних в базу даних пункту обслуговування споживачів);
- користувач, вставивши картку в пристрій зчитування лічильника, робить зчитування даних про оплату (при цьому на дисплеї лічильника

відображається сума сплаченого кредиту й відбувається запис в енергонезалежну пам'ять. В залежності від ситуації, лічильник робить додавання знову сплаченої суми до залишку раніше введеної оплати або робить вирахування вартості електроенергії, відпущеної споживачеві в кредит зі знову введеної суми оплати);

- лічильник робить облік спожитої енергії і віднімає її вартість з сплаченої суми (коли залишок сплаченої суми стає рівним раніше запрограмованому значенню, лічильник попереджає користувача звуковим сигналом про необхідність внесення чергової оплати за електроенергію; в випадку, якщо сплачена раніше сума вичерпана, а нова оплата не зроблена, лічильник автоматично робить відключення навантаження або продовжує відпускати енергію в кредит, якщо користувач має кредит енергопостачаючої організації);

- після попереджувального звукового сигналу користувач встановлює картку в пристрій зчитування лічильника (при цьому лічильник здійснює запис даних енергоспоживання на картку);

- у пункті обслуговування, при внесенні користувачем чергової оплати, з картки відбувається зчитування даних енергоспоживання, інформації про спроби несанкціонованого доступу та іншої службової інформації, яку заносять в базу даних системи, а також запис даних про чергову оплату електроенергії.

Електронний платіжний засіб (ЕПЗ) виконує функцію носія інформації про оплату електроенергії користувачем і даних про показники енергоспоживання.

Картка входить до комплекту поставки лічильника. Після установки лічильника електроенергії абонентів в пункті прийому платежів призначають індивідуальний номер і відбувається операція додавання його в базу даних. За допомогою карти абонент розраховується за спожиту електроенергію.

Розглянемо систему обліку електроенергії на базі сучасних технічних засобів апаратно - програмного комплексу «Сатурн-електро» (АПК «Сатурн - електро»), що складається з пристроїв збору даних (ПЗД) і електронних, електронно-механічних лічильників електроенергії, або стандартних трифазних індукційних лічильників електричної енергії, в які встановлені оптичні датчики.

АПК «Сатурн-електро» розроблений фахівцями фірми ТОВ «Промелектронсервіс» (м. Харків) на базі комплектуючих провідних світових виробників засобів промислової автоматизації (Octagon Systems (США), Advantech (Тайвань)).

Структурну схему системи обліку електроенергії АПК «Сатурн - електро» представлено на рис. 38.

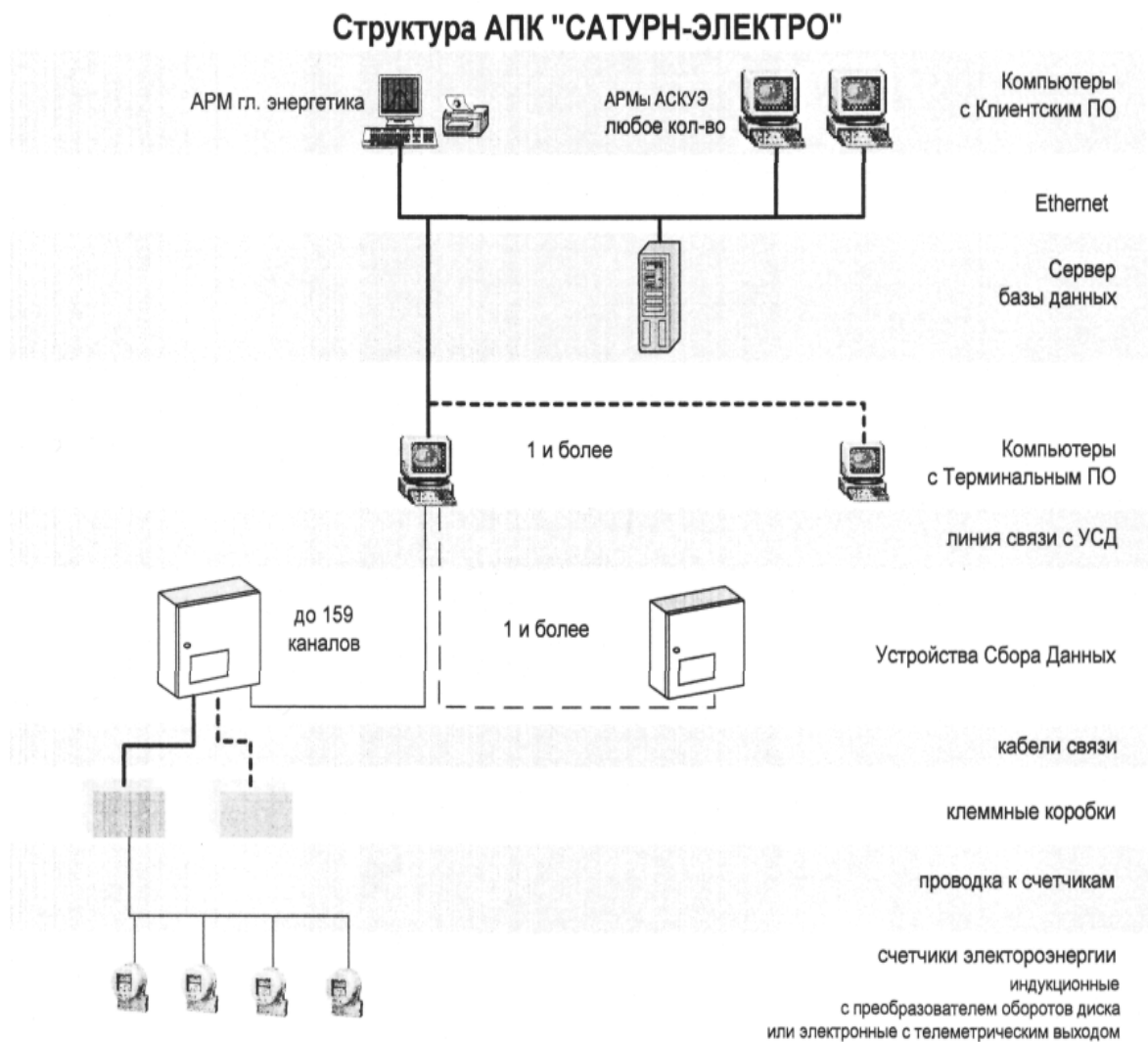


Рис. 38 - Структурна схема системи обліку електроенергії АПК
«Сатурн-електро»

Система обліку електроенергії складається з двох підсистем:

- підсистеми збору й первинної обробки інформації (лічильники, ПЗД);
- підсистема формування баз даних і роботи з ними (персональний комп'ютер).

Підсистема збору первинної інформації побудована за централізованим принципом і складається з:

- лічильників технічного обліку електроенергії (встановлених на підприємстві САЗУ, СА4У...), електронних лічильників комерційного обліку (типу АВВ, Landis&Gyr та ін.);
- пристрою збору даних (ПЗД);
- програмного забезпечення для ПЗД.

Призначення підсистеми збору й первинної обробки інформації:

- автоматичний збір даних про споживання енергії і потужності з лічильників, установлених у точках обліку;
- первинне перетворення і накопичування отриманої інформації;
- формування файлів даних для передачі в підсистему формування баз даних;
- занесення даних до архіву.

Апаратні і програмні рішення забезпечують захист накопичених і переданих даних від індустріальних перешкод.

Режим функціонування підсистеми збору і первинної обробки інформації безперервний, цілодобовий. ПЗД не вимагає обслуговування в процесі експлуатації.

Підсистема формування баз даних і роботи з ними складається з персонального комп'ютера типу IBM PC AT з необхідними периферійними пристроями і програмним забезпеченням верхнього рівня. Призначення підсистеми формування баз даних і роботи з ними:

- формування баз даних, що містять інформацію про споживання електроенергії і потужності по всіх точках обліку;
- формування й роздрукування звітних документів.

Програмне забезпечення системи обліку електроенергії надає наступні можливості:

1. Відображення графіків, діаграм і таблиць:

- за поточну, попередню, обрану добу, за поточний, попередній, обраний місяць в вигляді графіків з похибкою не більше 0,5% від енергоспоживання;
- за зонами доби (ранок, ранковий максимум, день, вечірній максимум, вечір і ніч) з похибкою не більше 0,5% від енергоспоживання.

2. Графіки по групах/каналах:

- спожитої потужності з дискретністю 5 і 30 хв. за поточну, попередню, обрану добу з похибкою не більше 5% від реально вимірюваного значення;
- спожитої енергії за місяць з дискретністю 1 доба з похибкою не більше 0,5% від реально вимірюваного значення;
- спожитої енергії за місяць по зонах доби з дискретністю 1 доба з похибкою не більше 0,5 від реально вимірюваного значення;
- спожитої потужності за 2 різні дати на одному графіку з дискретністю 5 або 30 хв.

3. Графіки по комплексних об'єктах (споживачі, у яких вимірюють реактивне споживання):

- споживання активної і реактивної електроенергії на одному графіку з дискретністю 5 або 30 хв.;
- графіки $\cos \varphi$ і $\operatorname{tg} \varphi$ з дискретністю 5 або 30 хв.

4. Графіки частоти:

- графік відхилення фактичної частоти в мережі від 50 Гц з дискретністю в 5 або 30 хв.

5. Таблиці:

- надання інформації про максимально спожиту групами/каналами потужність за поточний, попередній та обраний розрахунковий період з дискретністю 30 хв.;
- надання інформації про спожиту групами і каналами енергію за попередні 5 діб у вигляді таблиці.

6. Побудова звітів:

- «Відомість споживання електроенергії по каналах» - звіт споживання електроенергії за зазначений період по зазначених каналах з можливістю вибору з усіх каналів тільки активних або тільки реактивних;
- «Відомість споживання електроенергії за добу/зміну» - добовий звіт споживання за зазначену зміну або за всю добу по обраному діапазону каналів;
- «Відомість витрати електроенергії за місяць по профілю» - місячний звіт споживання за зазначений місяць по збереженому або новому профілю звіту з можливістю побудови цього звіту подекадно;
- «Звіт споживання добового електричного навантаження» - протокол вимірів показань лічильників за добу з інтервалом в 1 годину по обраному комплексному об'єкту;
- «Звіт споживання електроенергії по точках збору» - місячний звіт споживання електроенергії по зазначеній точці збору;
- «Місячний звіт по введеннях» - місячний звіт по обраному профілю уведень з розбивкою каналів на активні, реактивні і канали генерації;
- «Місячний звіт по групі/каналу» - місячний звіт споживання енергії по заданому каналі або групі з дискретністю в 1 день;
- «Протокол вимірів по введеннях» - добовий звіт споживання енергії по обраному профілю уведень з дискретністю 30 хв. в години «пик» і 1 година в інший час.

7. Контроль параметрів енергоспоживання:

- Моніторинг перевищення лімітів потужностей каналів і груп в години «пік», в тому числі в реальному часі.

8. Налаштування системи:

- можливість формування і оперативного корегування списку каналів обліку;
- можливість формування груп обліку з існуючих каналів і груп і оперативного корегування їхнього складу;
- можливість формування комплексних об'єктів з існуючих каналів обліку;
- можливість задавати і оперативно змінювати ліміти потужності і норми споживання електроенергії з дискретністю 1 кВт і 1 кВт·год відповідно;
- можливість задавати і оперативно змінювати часові інтервали зон доби і змін з дискретністю 30 хв.;
- надання інформації про ймовірно непрацюючі канали обліку та їхній пошук;
- можливість налаштування параметрів підключення до ПЗД;
- можливість задавати і оперативно змінювати профілі (визначені набори груп і каналів) для складання звітів;
- можливість задавати вихідні і святкові днів у місяці й встановлення процентного ліміту від норм робочого дня;
- можливість введення показань лічильників для ручних каналів;
- можливість перегляду протоколу системи.

9. Сервіс БД:

- ведення протоколу роботи системи;
- автоматичне створення резервних копій бази даних щотижня;
- можливість відновлення бази даних з резервних копій в випадку збою;
- автоматична архівація даних усередині БД щомісяця.

Розглянуті системи обліку далеко не вичерпують усього переліку АСКОВЕ впроваджених і проєктованих на енергогенеруючих, енергопостачальних підприємствах і в споживачів електричної енергії.

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Конспект лекцій з дисципліни “Мікропроцесорна техніка” (для студентів 4 курсу денної форми навчання спец. 7.09 06 03 - “Електротехнічні системи електроспоживання” та спец. 7.05 07 01 - “Електротехніка та електротехнології”)

Укладачі: Петро Павлович Рожков,
Світлана Едуардівна Рожкова

Редактор: З.М. Москаленко

Комп'ютерна верстка: Ю. П. Степась.

План 2007, поз. 99 Л

| | | |
|---|------------------------|---------------------|
| Підп. до друку 29.10.07 | Формат 60×80 1/16 | Папір офісний |
| Друк на ризографі | Умовн. друк. арк. –6,8 | Обл. -вид. арк.–7,3 |
| Тираж 50 прим. | Замовл. № | |
| 61002, м. Харків, ХНАМГ, вул. Революції, 12 | | |
| Сектор оперативної поліграфії ІОЦ ХНАМГ | | |
| 61002, м. Харків, вул. Революції, 12. | | |